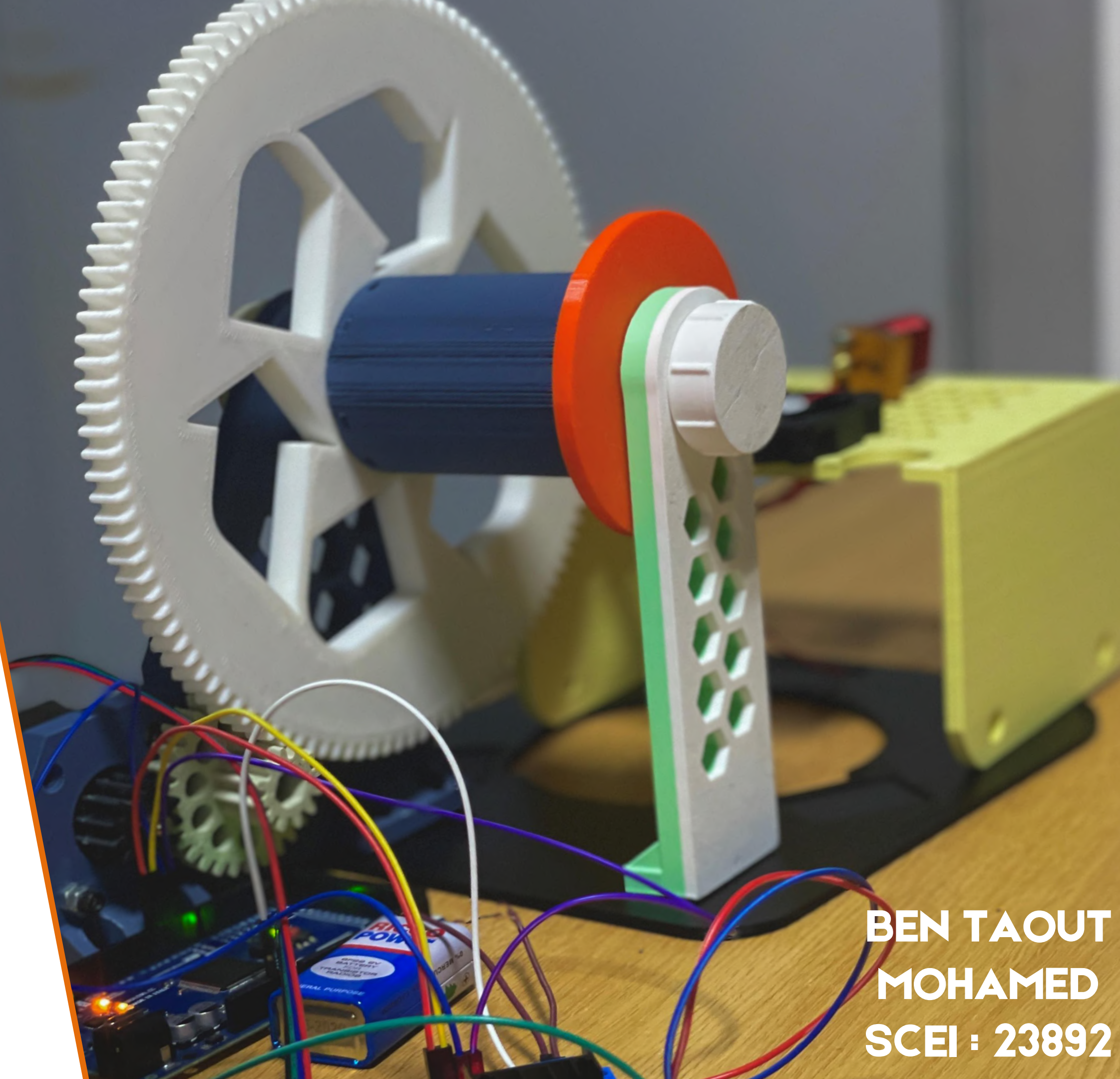


# PlastiFil'Box

**Poubelle de conversion des  
bouteilles plastiques en  
filaments** 



**BEN TAOUT  
MOHAMED  
SCEI : 23892**



# Plan de la **presentation**

## **I. Introduction**

## **II. Problématique**

## **III. Cahier des charges (SYSML)**

## **IV. Les objectifs**

**1. 1<sup>er</sup> objectif : Choix des capteurs du système.**

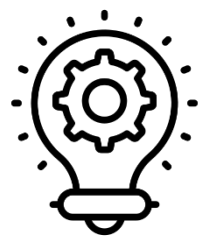
**2. 2<sup>ème</sup> objectif : Dimensionnement de vis et choix du moteur.**

**3. 3<sup>ème</sup> objectif : Asservissement du système.**

**4. 4<sup>ème</sup> objectif : Conception d'un model du système sur un logiciel de CAO.**

**5. 5<sup>ème</sup> objectif : Réalisation d'un prototype du système.**

## **V. Conclusion**



# Introduction



 ***Non recyclé***



 ***Peu recyclé***



 ***Recyclé***



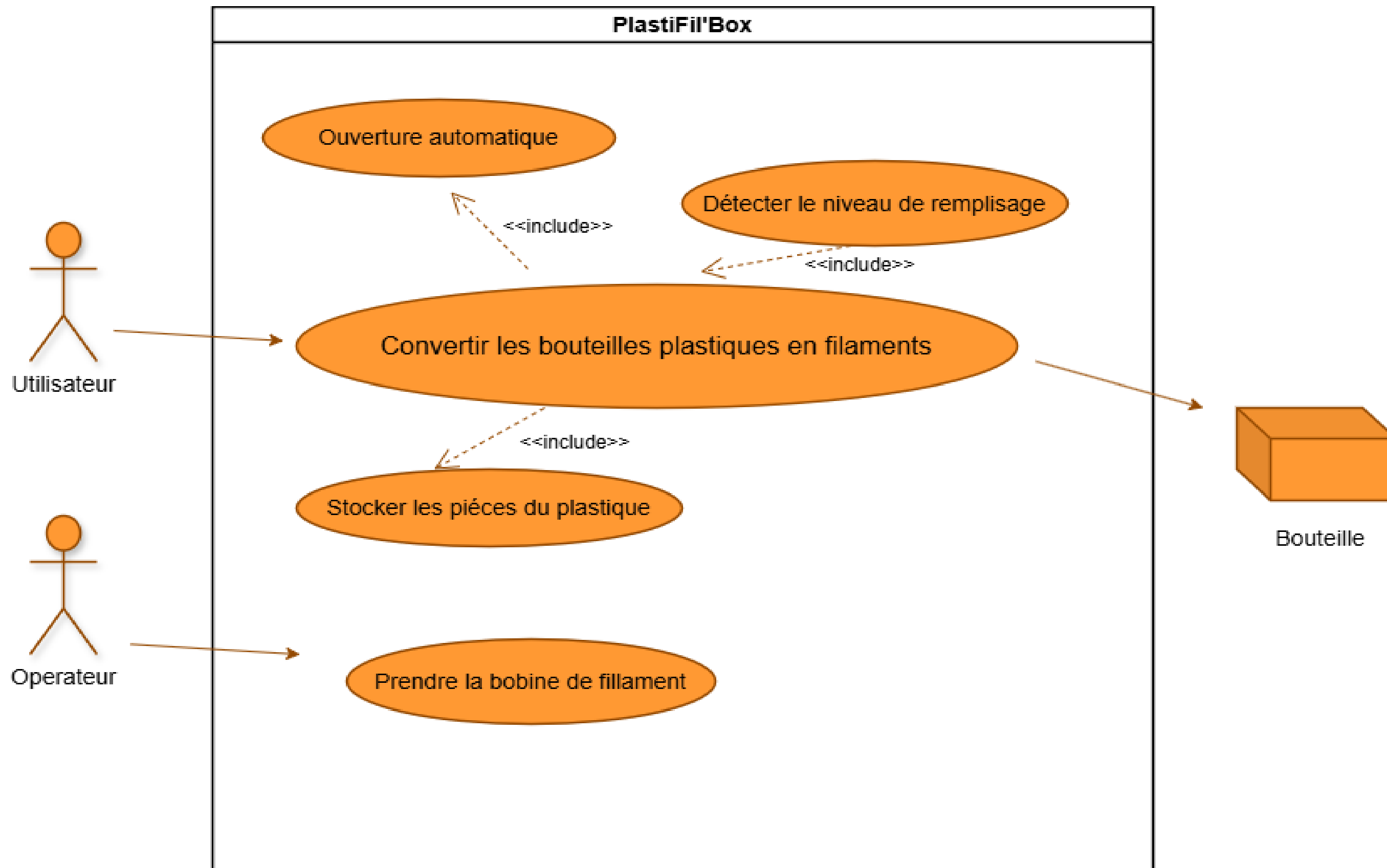
# Problématique **retenue**

**Comment peut-on réaliser un système de conversion des déchets plastique en filaments pour garantir la réduction de la pollution environnementale, et favoriser le recyclage?**





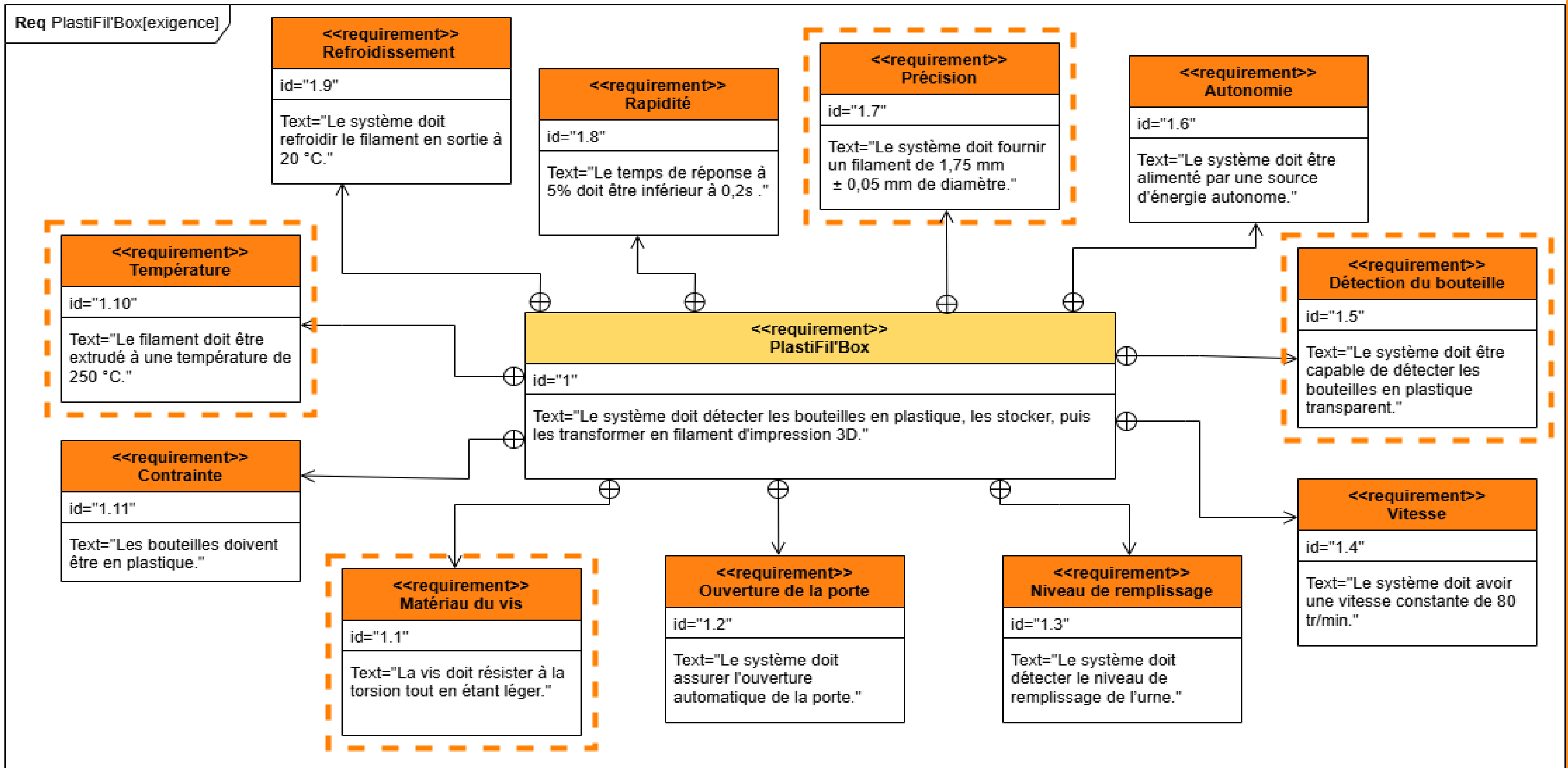
# Cahier des charges



• Figure 1 : Diagramme de cas d'utilisation du système



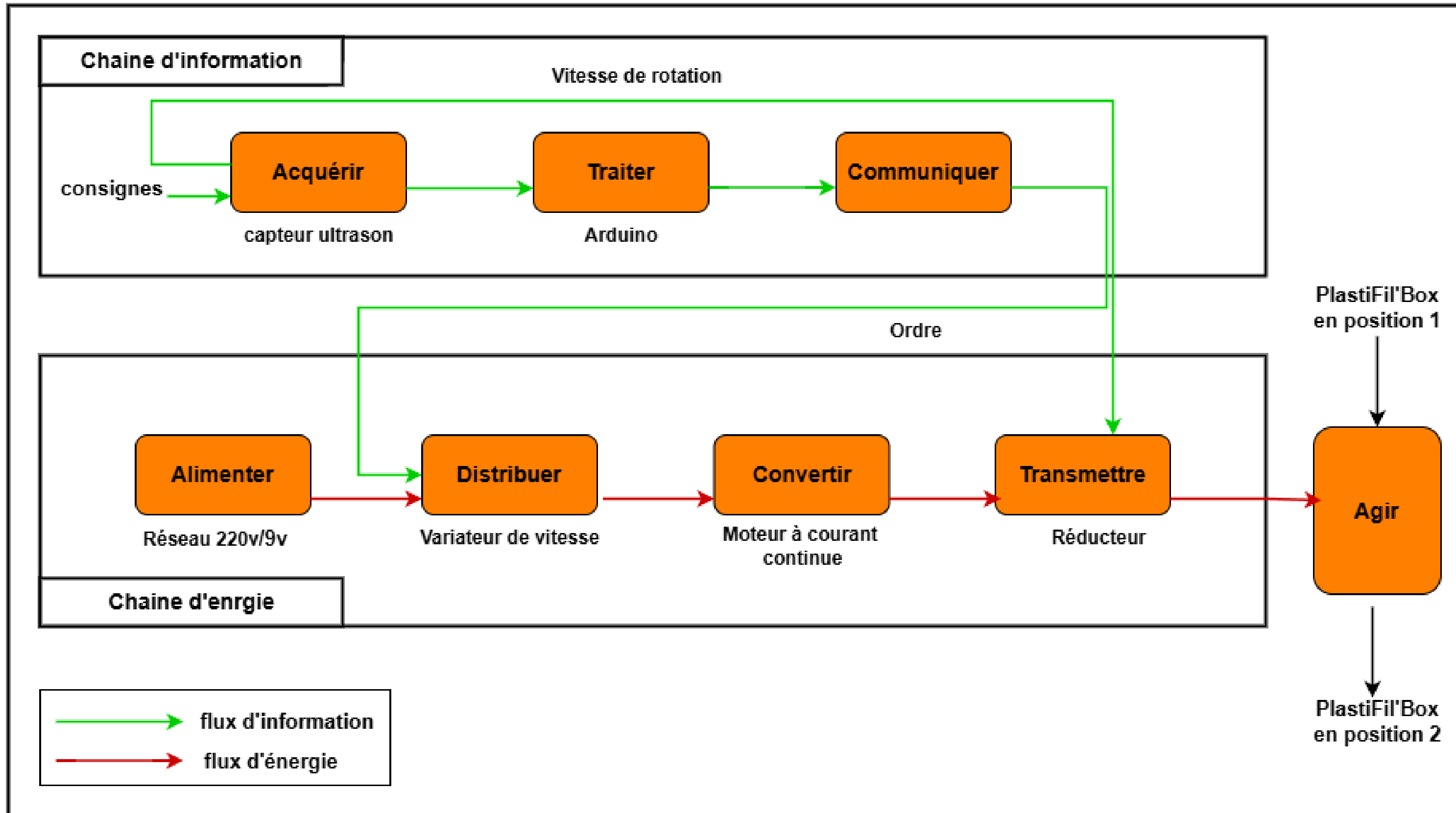
# Cahier des charges



• Figure 2 : Diagramme des exigences du système



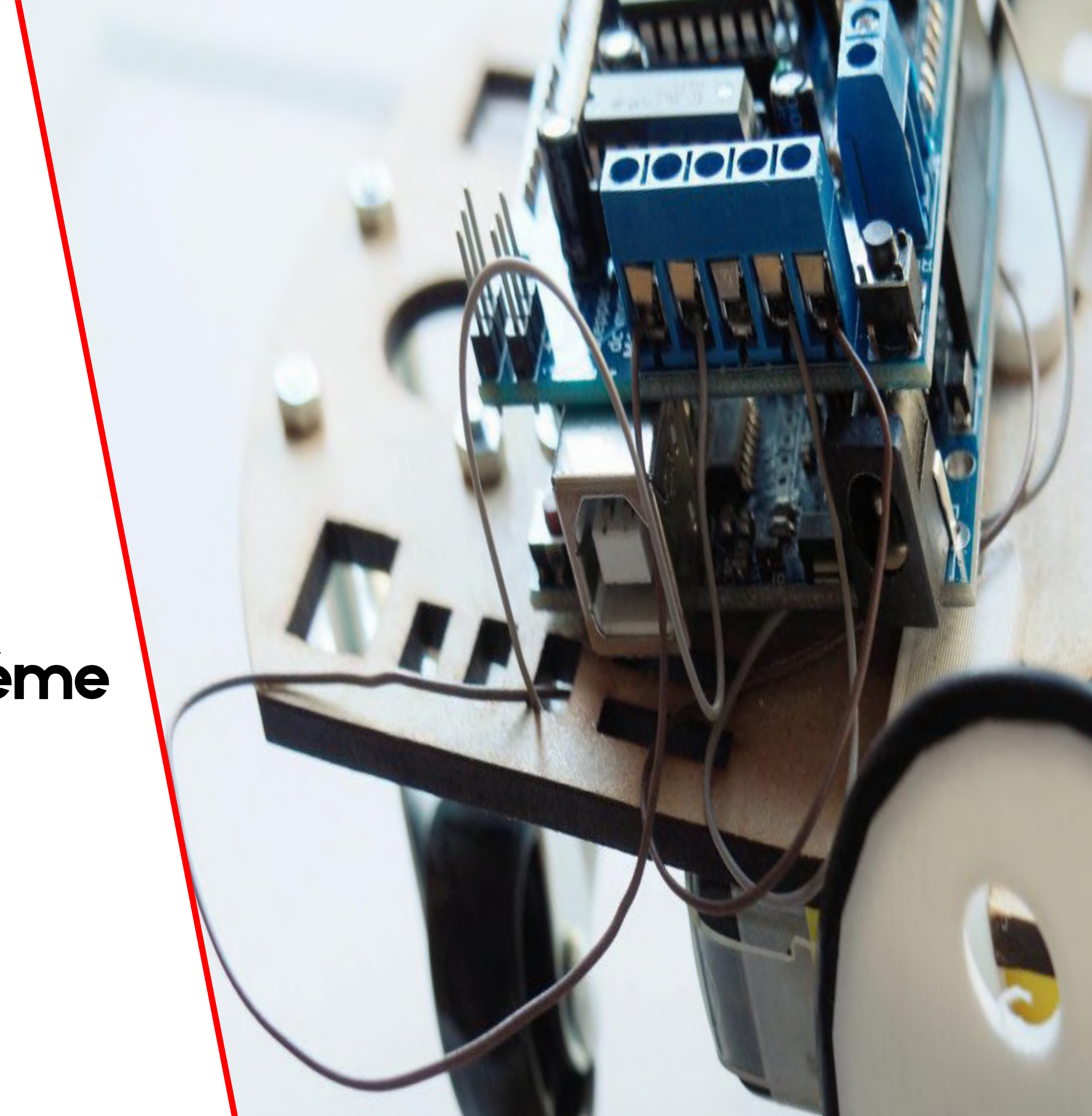
# Cahier des charges

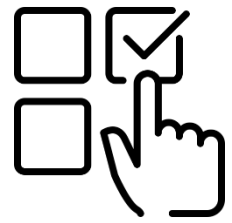


• Figure 3 : Chaine Structurelle PlastiFil'Box

1<sup>er</sup> **objectif :**

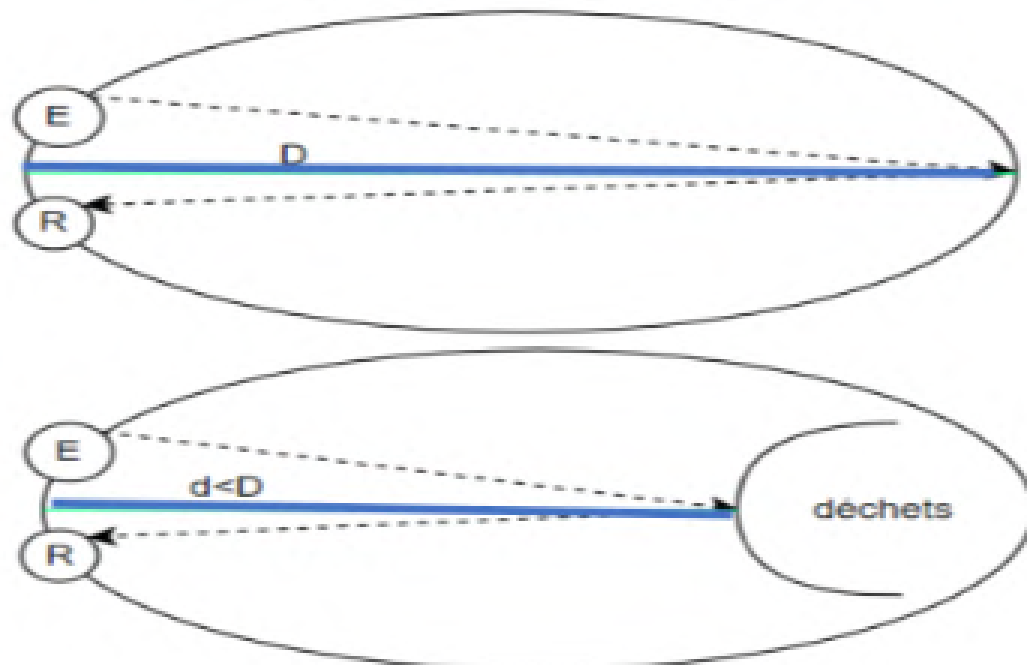
**Choix des capteurs du système**





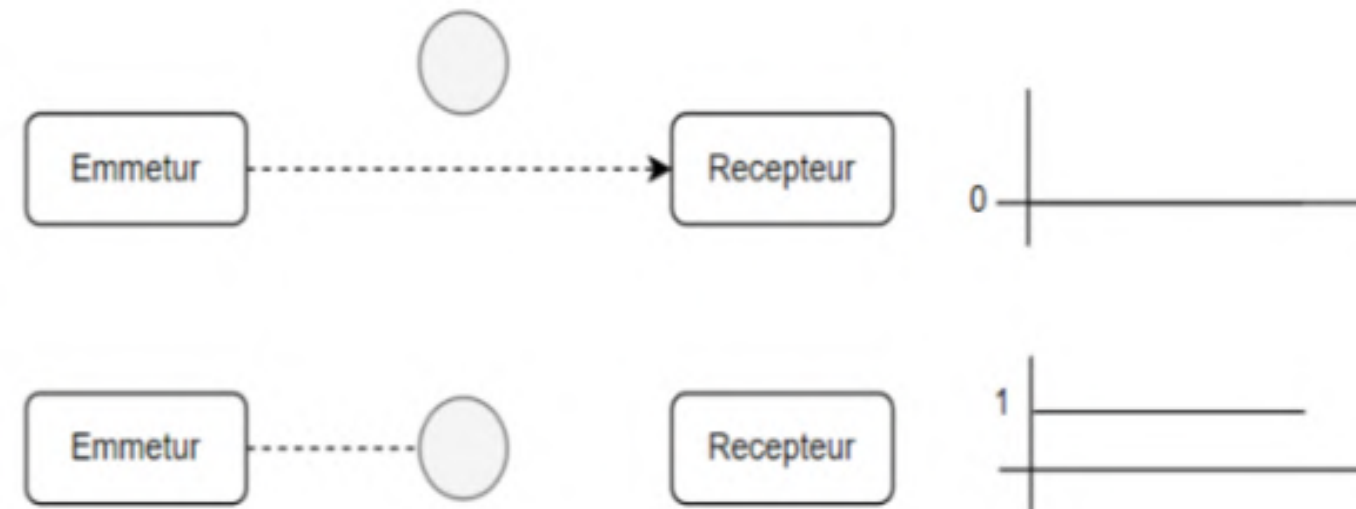
# Comparaison et choix de **capteur**

## Capteur Ultrason :

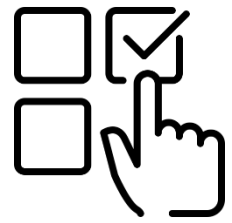


• *Figure 4 : Principe du capteur ultrason*

## Capteur Infrarouge :



• *Figure 5 : Principe du capteur Infrarouge*

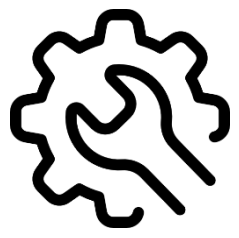


# Comparaison et choix de **capteur**

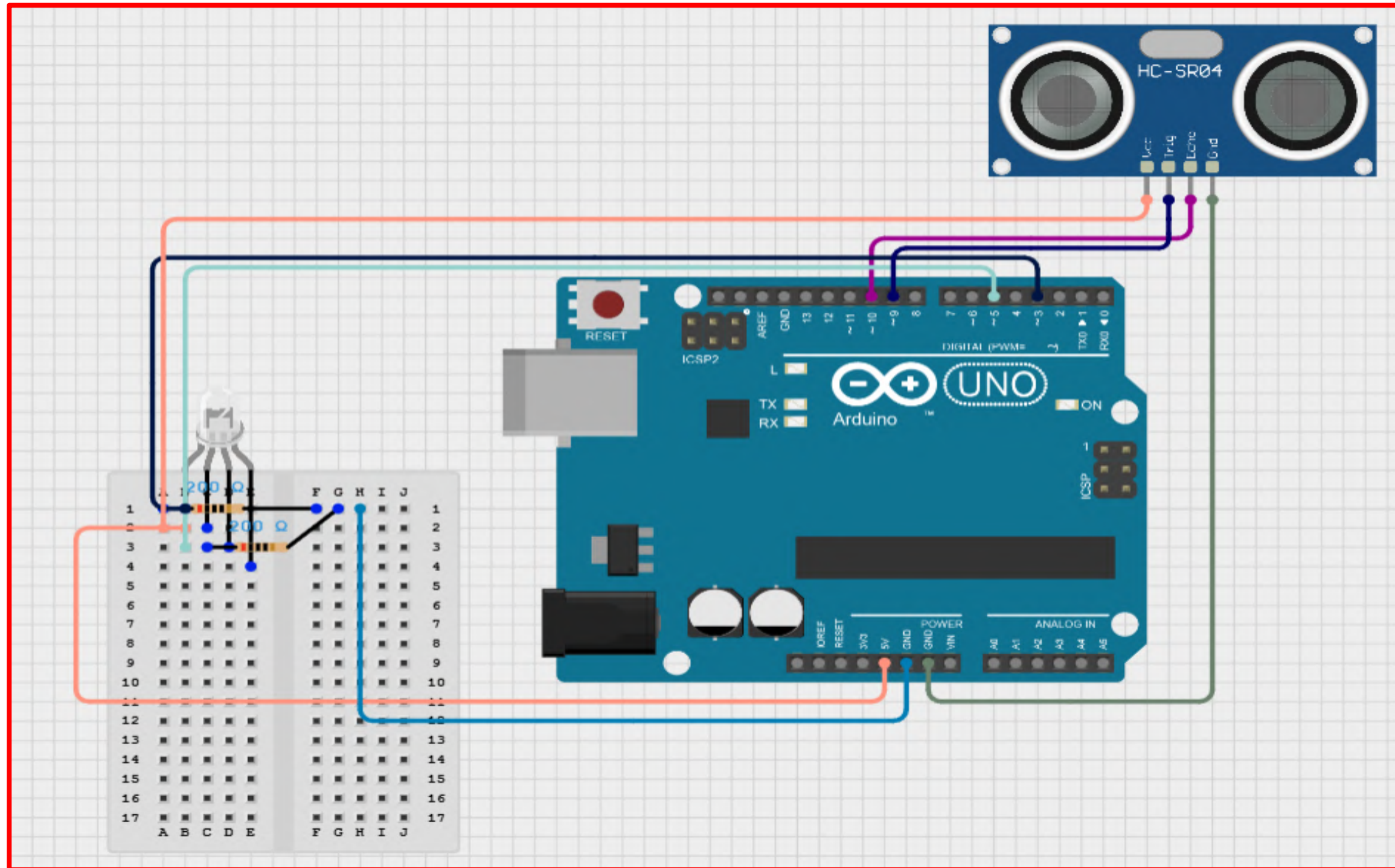
Les caractéristiques	Capteur ultrason	Capteur infrarouge
Tension de fonctionnement	5V	3,5V
Précision	±3 mm	Faible
Sensibilité aux objets transparents	Fonctionne bien	Moins efficace
Temps de réponse	Rapide	Rapide



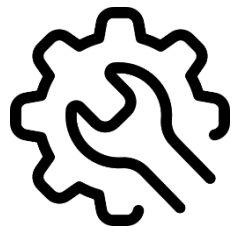
Le capteur **Infrarouge** est moins performant avec des objets transparents ce qui montre que **Ultrason** est le meilleur choix.



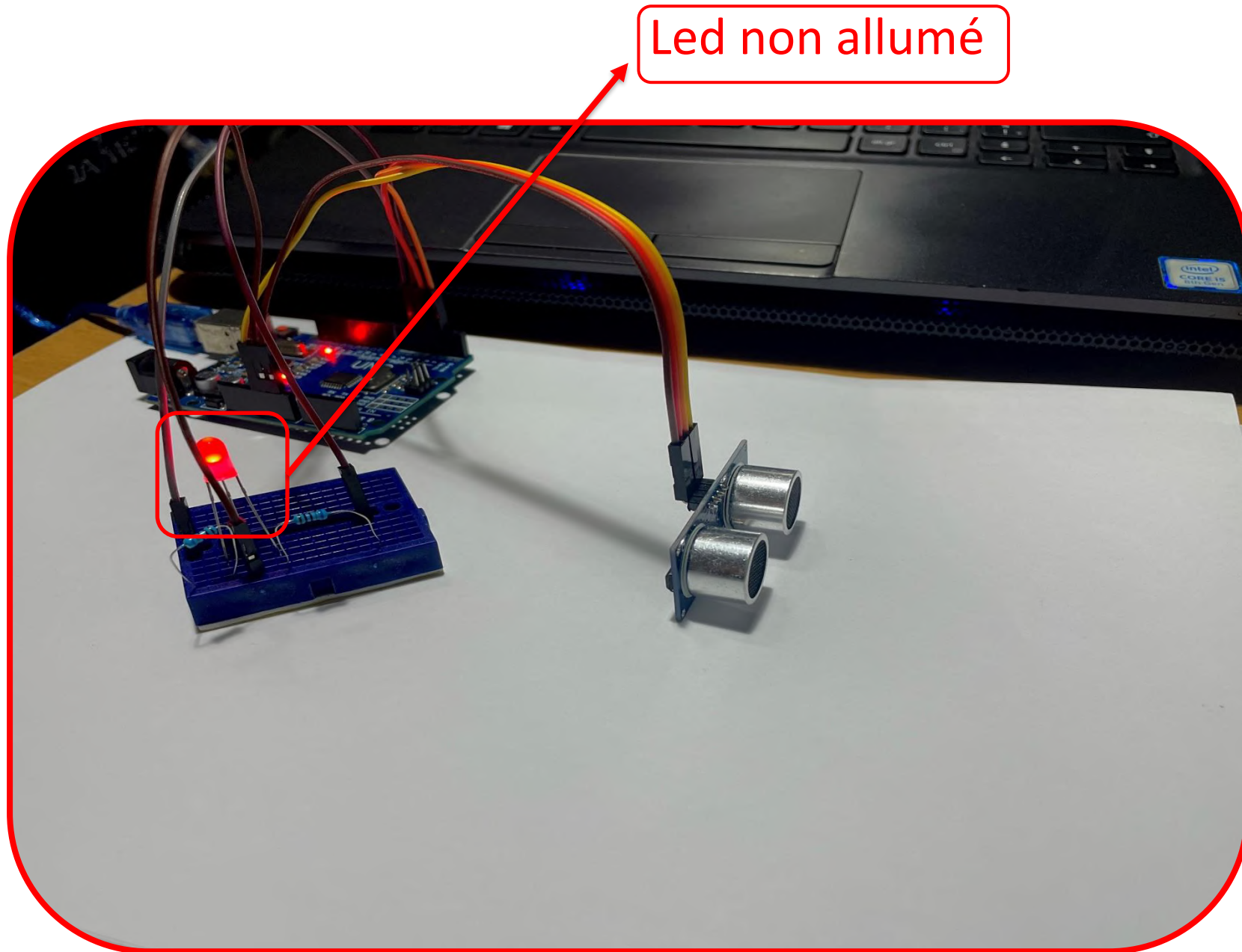
# Schéma électrique



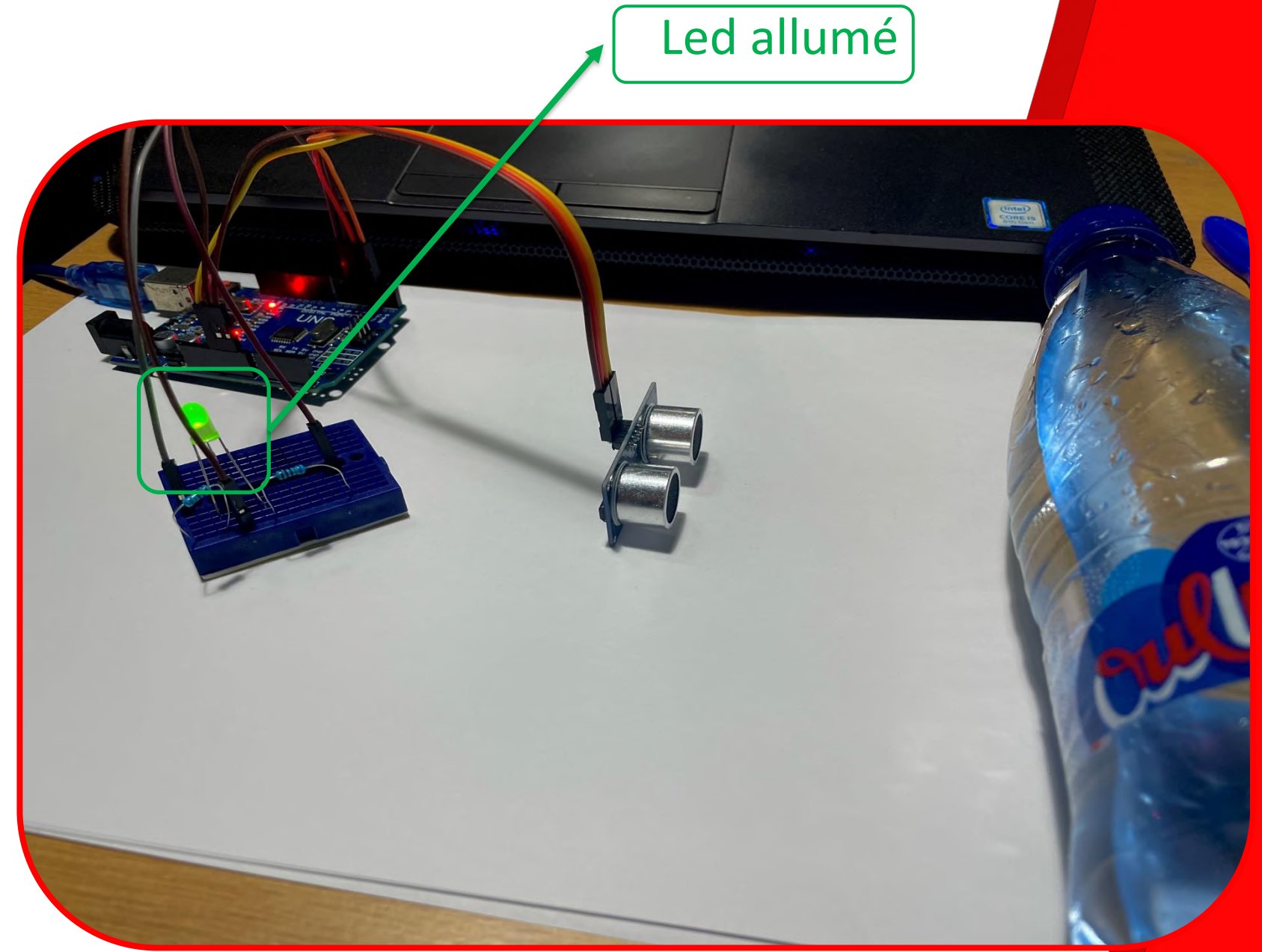
• *Figure 6 : Montage expérimental*



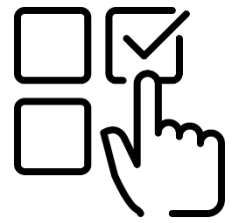
# Expérience



• *Figure 7* : Bouteille non détectée



• *Figure 8* : Bouteille détectée

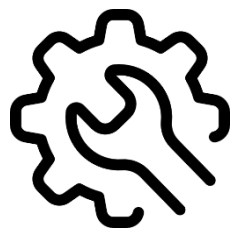


# Comparaison et choix de **capteur**

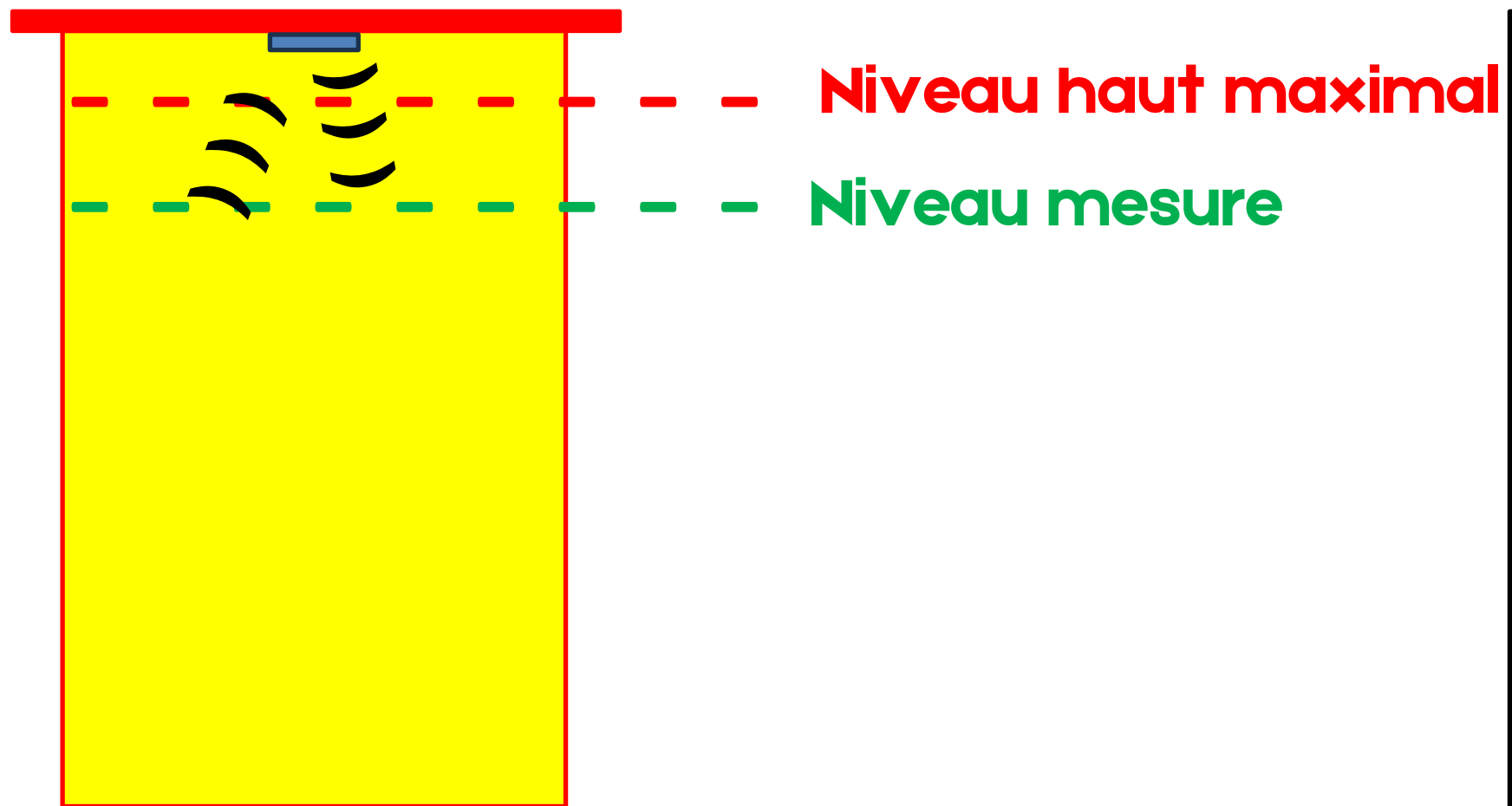
Les caractéristiques	Capteur ultrason	Capteur infrarouge
Tension de fonctionnement	5V	3,5V
Précision	±3 mm	Faible
Plage de Mesure	2 cm à 400 cm	10 cm à 80 cm
Temps de réponse	Rapide	Rapide



Le capteur **Infrarouge** est moins performant avec des objets transparents ce qui montre que **Ultrason** est le meilleur choix.



# Mesure du niveau haut



La distance **d** entre le capteur et l'obstacle :

$$d = \frac{v * t}{2}$$

**v** : la vitesse du son dans l'air.

**t** : le temps.

Conclusion :

$$d > 5\text{cm}$$

Hypothèse :

- La taille du conteneur : 15cm
- Le niveau haut maximal est estimé à 10cm

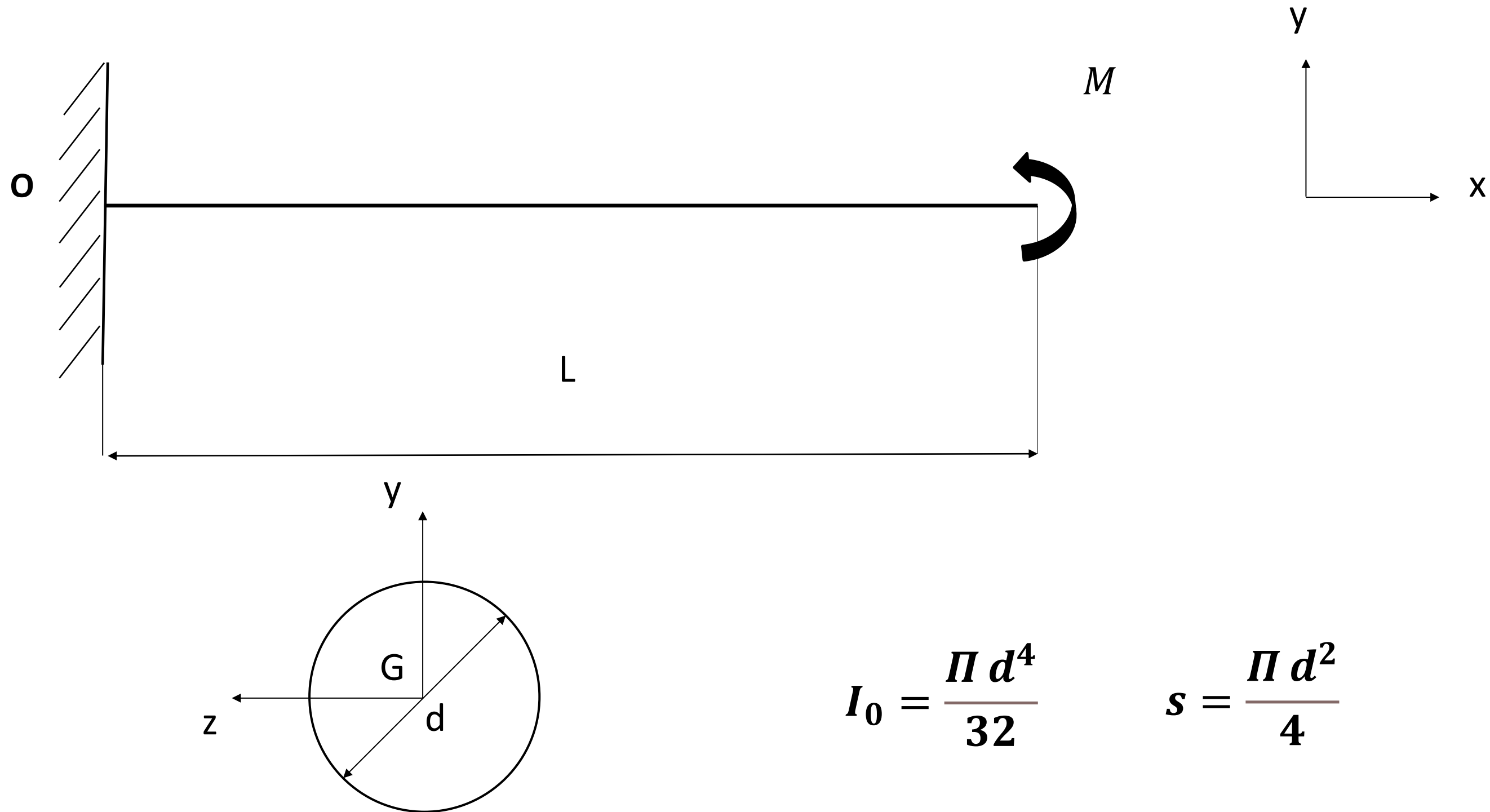
## 2<sup>ème</sup> objectif :

**Dimensionnement de vis et choix  
du moteur**

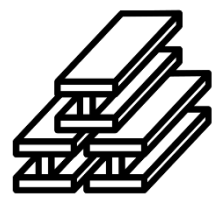




# Modélisation du problème



- *Figure 9* : Modilisation de la vis par une poutre.



# Choix de Matériau

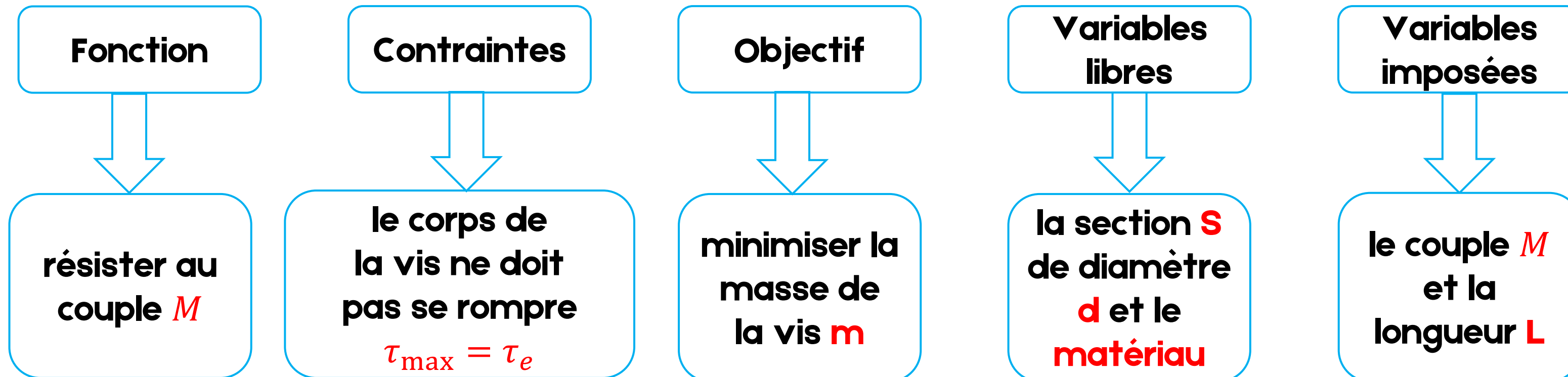


## Cahier des charges

La vis d'extrusion doit résister à la torsion tout en étant léger.

Propriétés intrinsèques au matériau:

- ✓ Masse volumique:  $\rho$
- ✓ Contrainte à la limite élastique:  $\tau_e$





# Écriture des Equations

❖ Masse :

$$m = \rho SL = \rho \pi \frac{d^2}{4} L$$

❖ Contrainte :

$$\tau_{m_{ax}} = \tau_e = \frac{|M_t|_{m_{ax}}}{I_0} y_{max} = 16 \frac{M}{\pi d^3}$$

## Dissociation des variables dans l'équation de performance

Séparons  $m$  du variable ajustable  $d$   $\Rightarrow$   $m = \left[ \frac{16}{\pi} \right]^{2/3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot L \cdot \frac{\rho}{\tau_e^{2/3}} M^{2/3}$

D'où l'équation du performance :

$$m = C_1 \cdot L \cdot \frac{\rho}{\tau_e^{2/3}} M^{2/3}$$

$C_1$  est une constante



# Extraction de L'indice de Performance

**(M)** : Paramètre propre au matériau  
(rapport le plus petit possible)

$$m = C_1 \cdot L \cdot \frac{\rho}{\tau_e^{2/3}} M^{2/3}$$

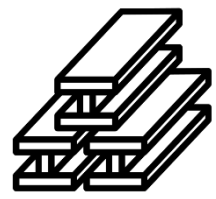
**(O)** : Fonction objectif  
Critère à optimiser

**(G)** : Caractéristique  
géométrique

**(F)** : Paramètre fonctionnel  
Quantité imposée (fixe)

$$I = \left[ \frac{\tau_e^{2/3}}{\rho} \right]$$

Maximiser I  $\Rightarrow$  choisir à la fois un matériau **léger** et **résistant**.



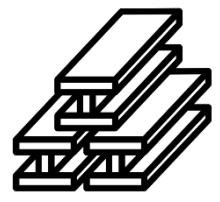
# Choix de Matériau

## ❖ Diagramme d'Ashby:

**Principe:** représenter une propriété du matériau en fonction de l'autre.

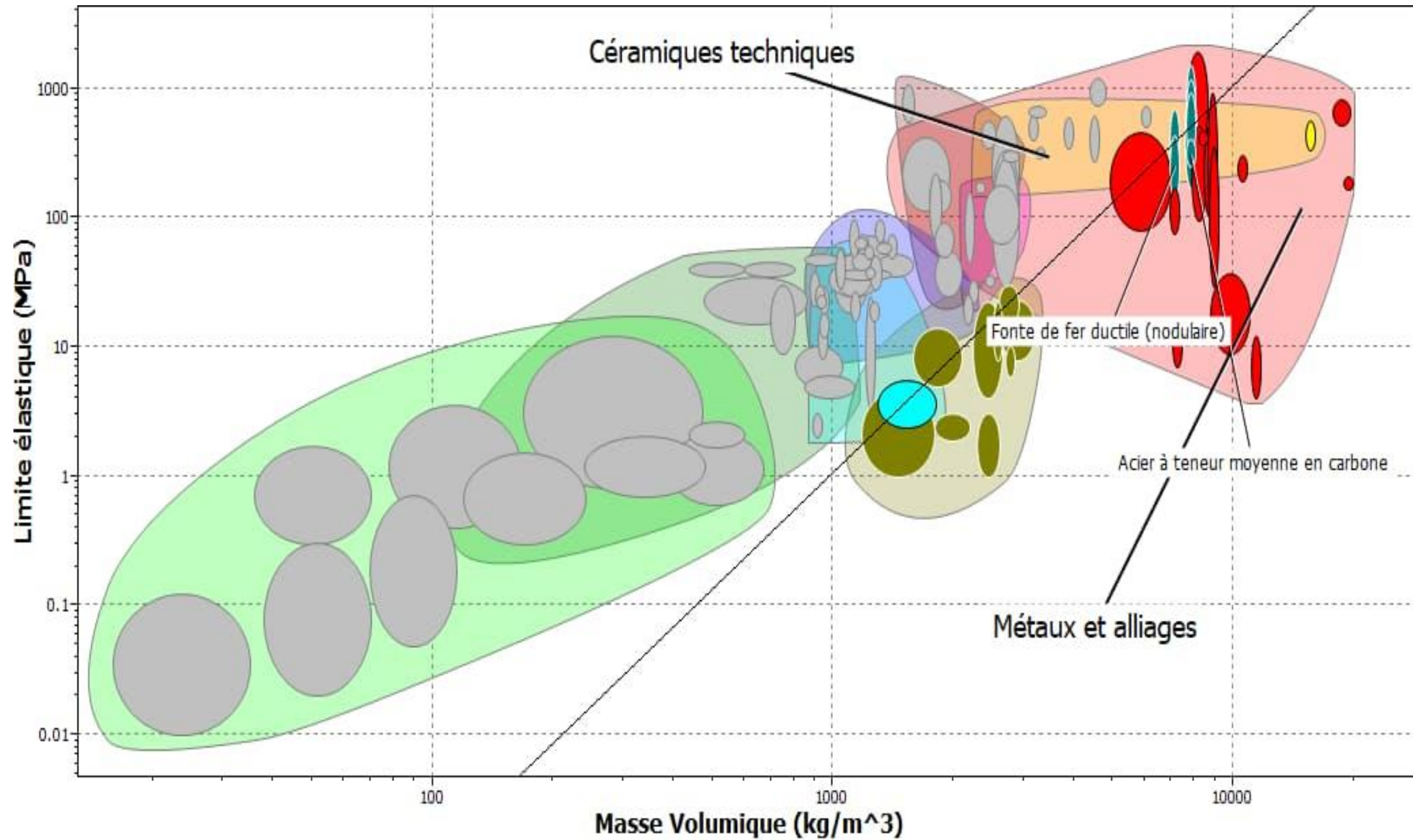
$$\text{On a : } m = C_1 \cdot L \cdot \frac{\rho}{\tau_e^{2/3}} M^{2/3} \Rightarrow I = X = \frac{\tau_e^{2/3}}{\rho} \Rightarrow \tau_e^{2/3} = X \cdot \rho$$

$$\log \tau_e = \frac{3}{2} \log \rho + \frac{3}{2} \log X$$

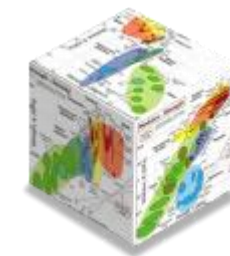


# Choix de Matériau

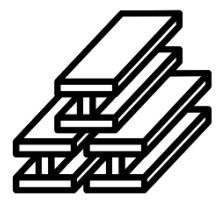
## ❖ Diagramme d'Ashby:



• *Figure 10* : Diagramme d'Ashby



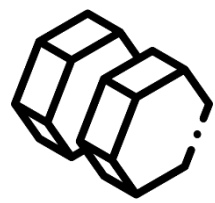
GRANTA | CES 2013  
EDUPACK



# Choix de **Matériau**

- ❖ Les familles de matériau: **les céramiques techniques** sont très chères.
- ❖ Les fontes sont **sensibles à la corrosion.**
- ❖ Les familles de matériau convenables sont:
  - ☐ **Aciers**





# Dimensionnement de la vis

Condition de la résistance à la torsion:

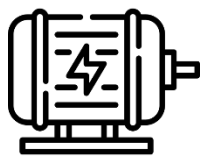
$$\tau_{max} \leq \frac{\tau_e}{s}$$

$$\Rightarrow \frac{|M_t|_{max}}{IGz} \cdot Y_{max} = M \cdot \frac{16}{\pi d^3} \leq \frac{\tau_e}{s}$$

$$\begin{aligned} \tau_e &= 1000 \text{ MPa} \\ M &= 4 \text{ N.m} \\ s &= 4 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot s}{\pi \cdot \tau_e} \cdot M}$$

$$\Rightarrow d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 4}{\pi \cdot 1000} \cdot 4000} \Rightarrow d_{min} = 4,8 \text{ mm}$$



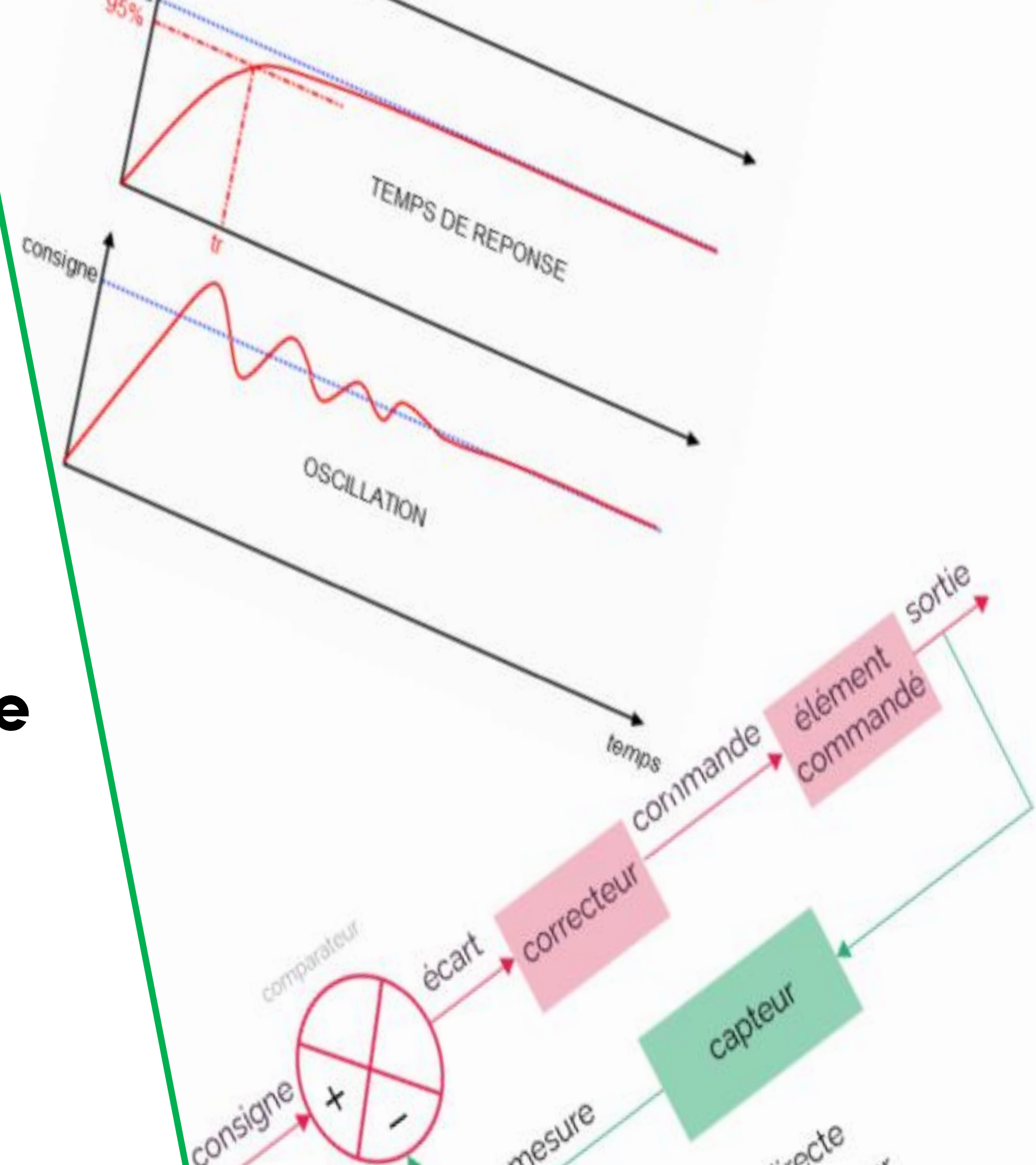
# Choix du moteur

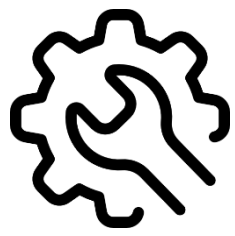
REFERENCE NUMBER REFERENCIA REFERENCE REFERENZNUMMERN	NOMINAL VOLTAGE TENSION NOMINAL TENSION NOMINALE NENNSPANNUNG	NOMINAL TORQUE PAR NOMINAL COUPLE NOMINAL DREHMOMENT NOMINAL	NOMINAL SPEED VELOCIDAD NOMINAL VITESSE NOMINALE GESCHWINDIGKEIT NOMINAL	NOMINAL CURRENT CORRIENTE NOMINAL COURANT NOMINAL NOMINALSTROM	STARTING TORQUE PAR DE ARRANQUE COUPLE DE DEMARRAGE ANZUGSDREHMOMENT	STARTING CURRENT CORRIENTE DE ARRANQUE COURANT DE DEMARRAGE ANLAUFSTROM	SHAFT EJE ARBRE WELLE	CONNECTIONS CONEXIONES CONNEXIONS ANSCHLUSSART	WIRING DIAGRAM ESQUEMA ELECTRICO SCHEMA ELECTRIQUE SCHALTBILD	TRANSMISSION RATIO RELACION DE REDUCCION RAPPORT DE REDUCTEUR UNTERSATZUNG	APPROXIMATE WEIGHT PESO APROXIMADO POIDS APPROXIMATIF GEWICHT (ca.)	WATERTIGHTNESS GRADO DE ESTANQUEIDAD ETANCHEITE FEUCHTIGKEITSSCHUTZKLASSE	WHEEL MATERIAL MATERIAL RUEDA MATERIAU ROUE MAT. DES SCHNECKENRADES	DESIGN: A,B,C DISEÑO: A,B,C DESSIN: A,B,C ABBILDUNG: A,B,C	CURVE CURVA COURBE KURVE
	Un (V)	Mn (N.m./lbf.in)	nn (r.p.m.)	In (A)	Ma (N.m./lbf.in)	Ia (A)				i	P (kg/lb)	IP			
31918462000	12	4 / 35	85	7	40 / 354	60	E35	C37	F5	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	62
31918463000	24	4 / 35	85	3.5	40 / 354	30	E35	C37	F5	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	62
31918602000	12	9 / 79.6	30	7	50 / 442	28	E35	C37	F5	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	58
31918603000	24	9 / 79.6	30	3	50 / 442	15	E35	C37	F5	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	58
31918622000	12	8 / 70.8	45	6	50 / 442	50	E35	C37	F5	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	60
31918623000	24	9 / 79.6	45	3	60 / 531	25	E35	C37	F5	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	61
31938202000	12	9 / 79.6	30	7	50 / 442	28	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	BRO	A	58
31938203000	24	9 / 79.6	30	3	50 / 442	15	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	BRO	A	58
31938222000	12	8 / 70.8	45	6	50 / 442	50	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	BRO	A	60
31938223000	24	9 / 79.6	45	3	60 / 531	25	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	BRO	A	61
31938452000	12	6 / 53.1	65	8	35 / 309	40	E35	C37	EE4	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	67
31938453000	24	6 / 53.1	65	4	40 / 354	25	E35	C37	EE4	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	67
31938462000	12	4 / 35	85	7	40 / 354	60	E35	C37	EE4	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	62
31938463000	24	4 / 35	85	3.5	40 / 354	30	E35	C37	EE4	78:2	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	62
31938602000	12	9 / 79.6	30	7	50 / 442	28	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	58
31938603000	24	9 / 79.6	30	3	50 / 442	15	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	58
31938622000	12	8 / 70.8	45	6	50 / 442	50	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	60
31938623000	24	9 / 79.6	45	3	60 / 531	25	E35	C37	EE4	81:1	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	61
31990593000	24	2.2 / 19.47	230	4	20 / 177	36	E35	C37	EE4	68:4	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	65
31991283000	24	2.2 / 19.47	230	4	20 / 177	36	E35/E66	C38	EE4	68:4	1.7 / 3.75	IP40	PLA	B	65
31991372000	12	2 / 17.7	155	8	20 / 177	60	E35	C38	EE4	68:4	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	66
31991373000	24	2 / 17.7	175	4	20 / 177	30	E35	C38	EE4	68:4	1.7 / 3.75	IP65	PLA	A	66

• Figure 11: Les caractéristiques du moteur choisi

# 3<sup>ème</sup> objectif :

## Asservissement du système





# Identification de la MCC

Echelon  
de  
tension  
9V



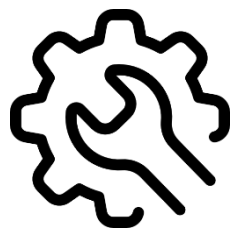
Valeurs de la  
vitesse en tr/min  
avec les quelles  
on trace la  
réponse indicielle  
par un traceur  
numérique

Le but de cette identification est la détermination de la fonction de transfert du MCC :

$$H_{(p)} = \frac{\Omega_{(p)}}{U_{(p)}}$$

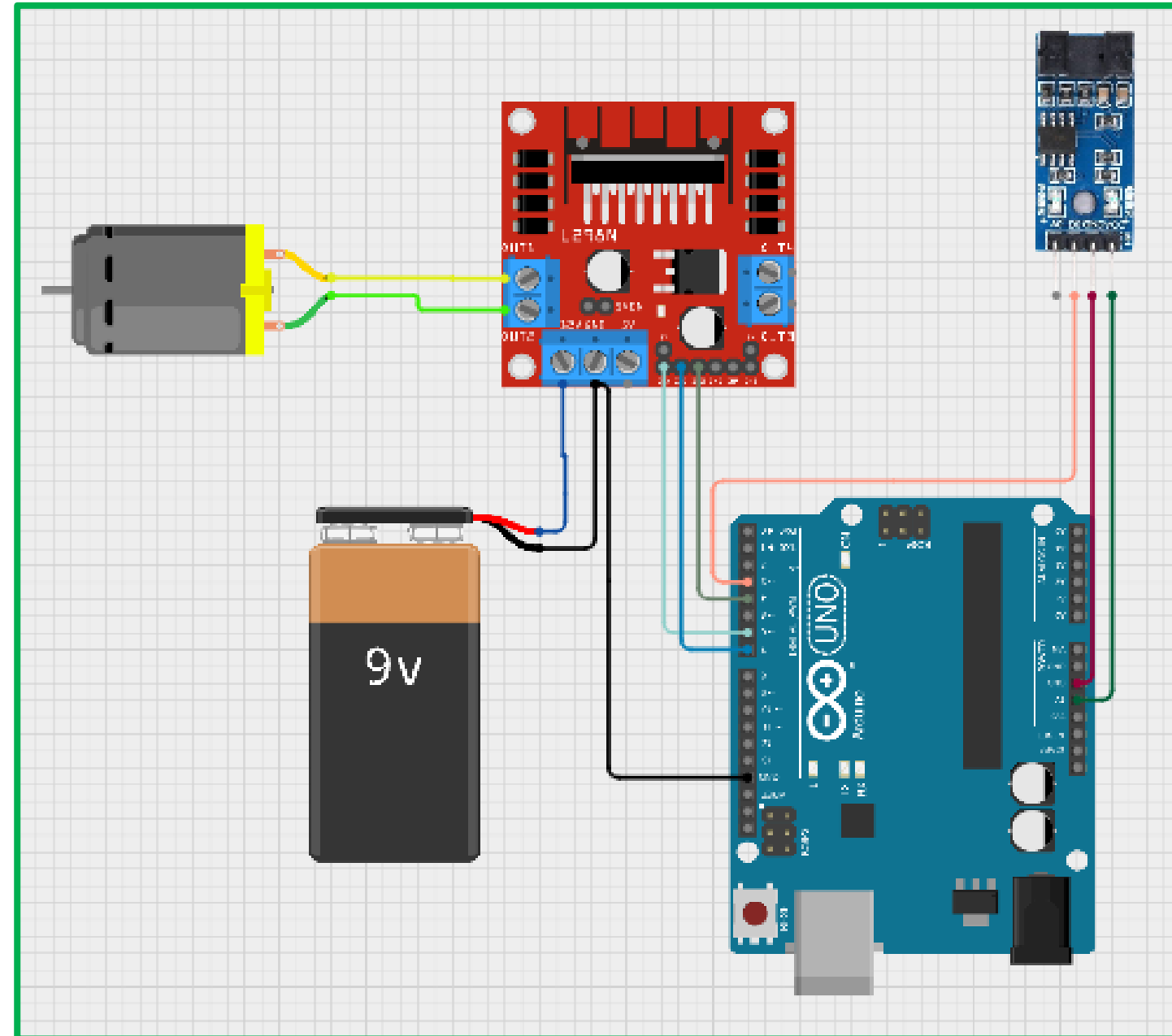
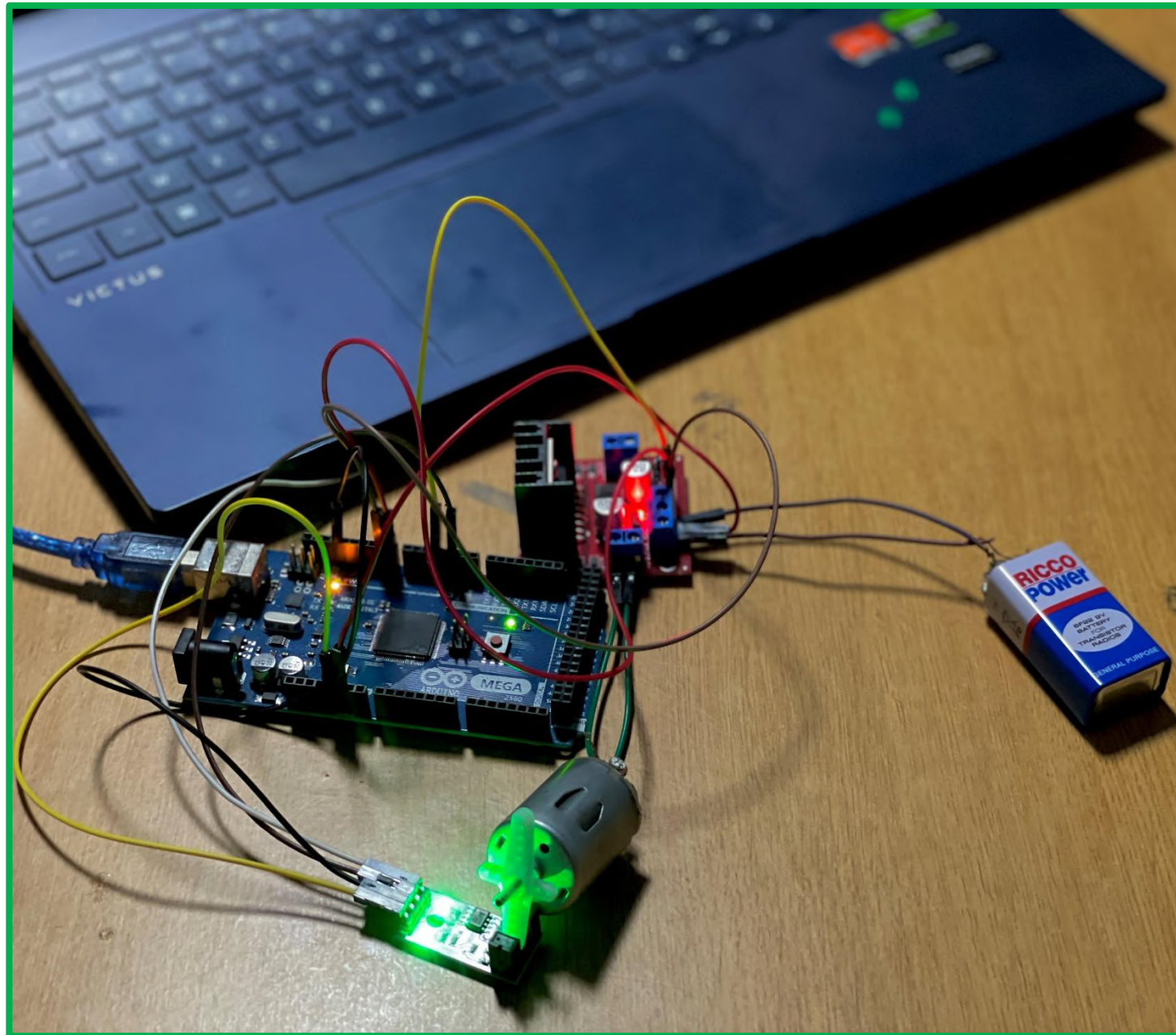
Avec :  $\Omega$  : vitesse de rotation en rad/s

$U$  : tension d'entrer (échelon) en volts

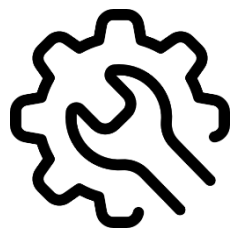


# Identification de la MCC

**Expérience:** Etablir la réponse du moteur à un échelon de 9V

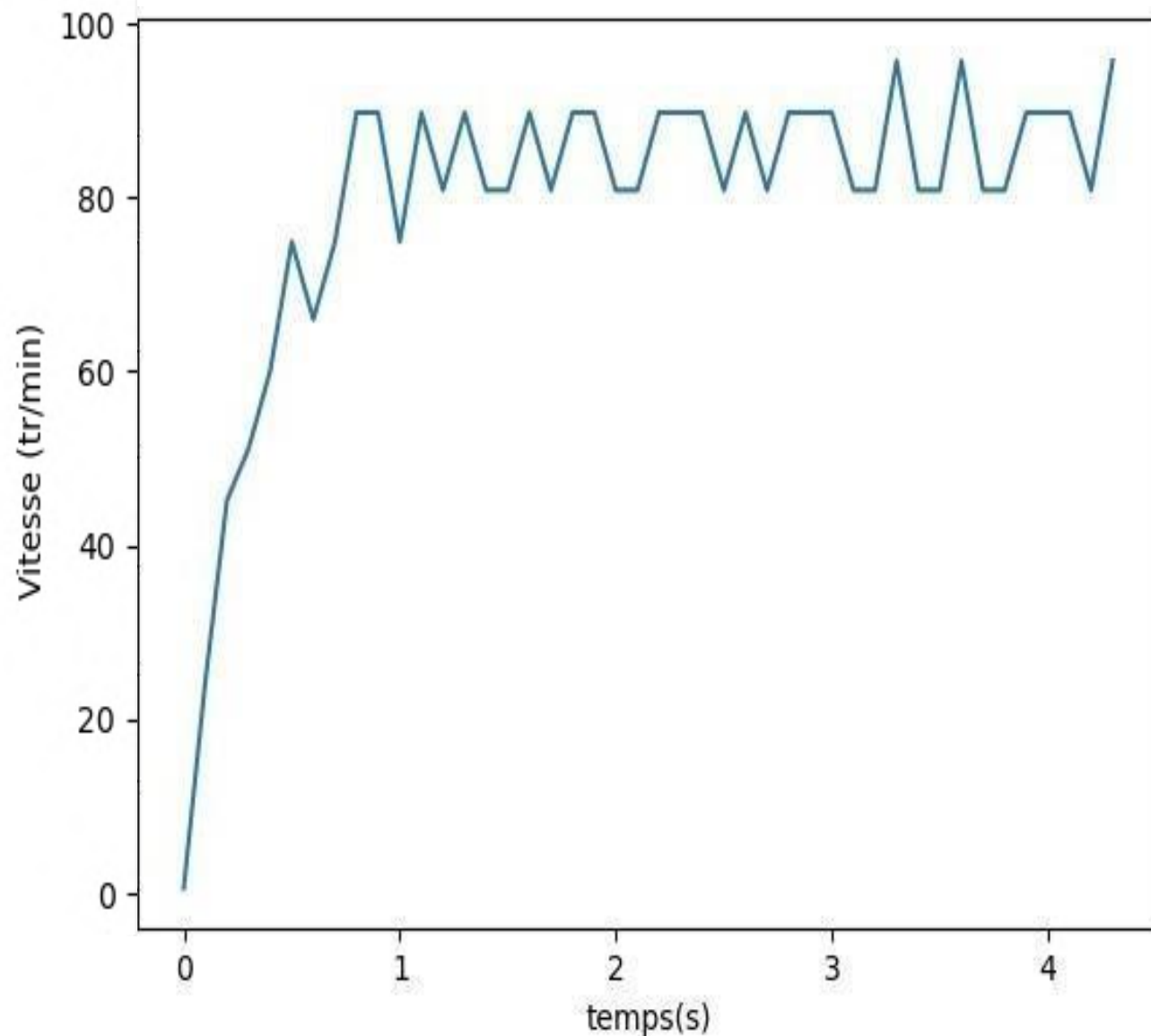


• *Figure 12 :* Montage de l'expérience.



# Identification de la MCC

## Resultats et Interpretation



• *Figure 13* : Le tracé réel de la vitesse de rotation en fonction du temps

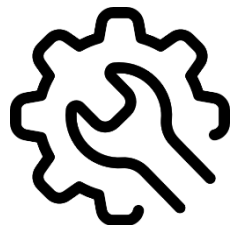
**Constante du temps :  $\tau = 0,4s$**

$$\Omega_{\infty} = 85 \text{ rad}\backslash s \quad U = 9V$$

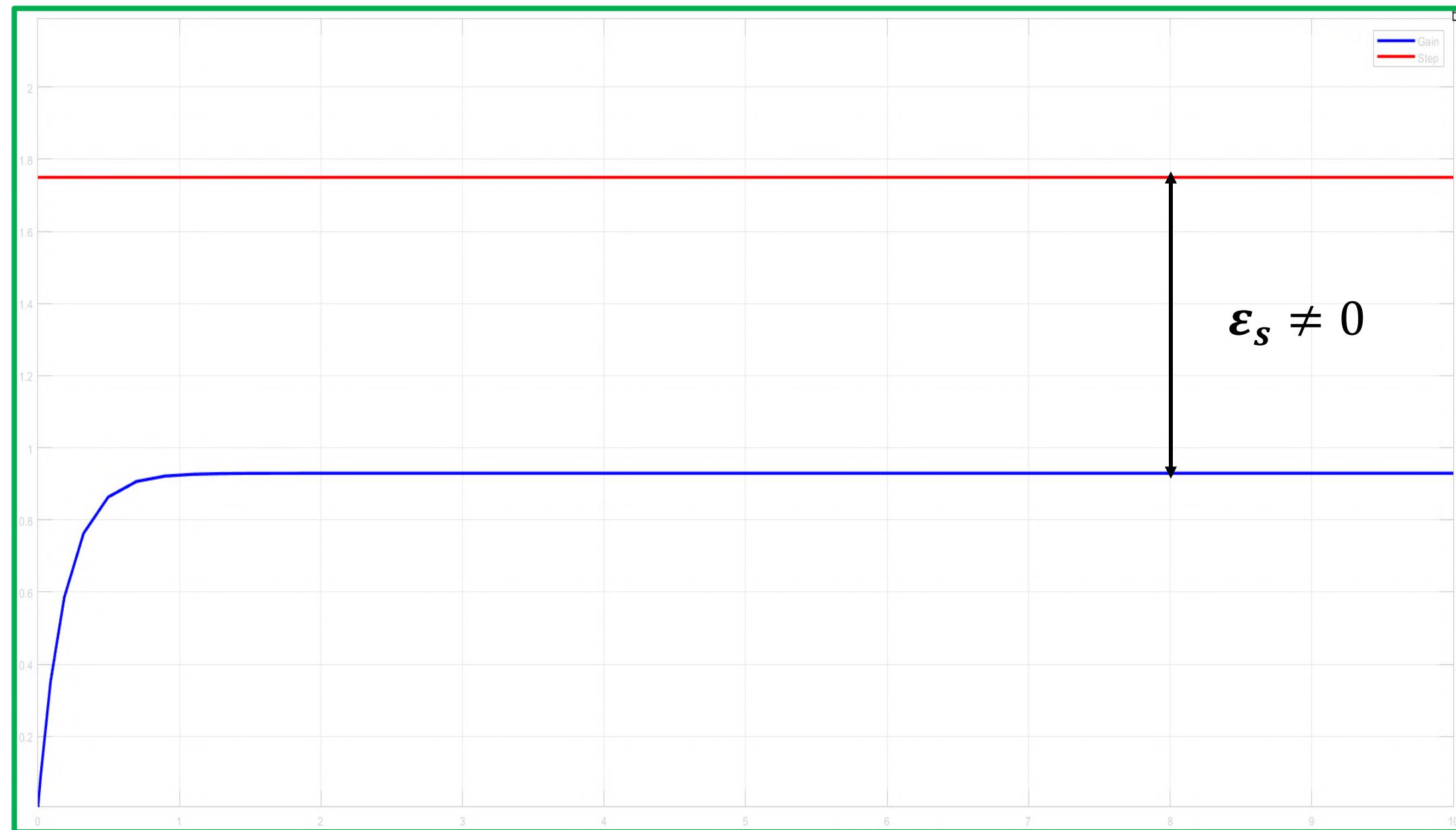
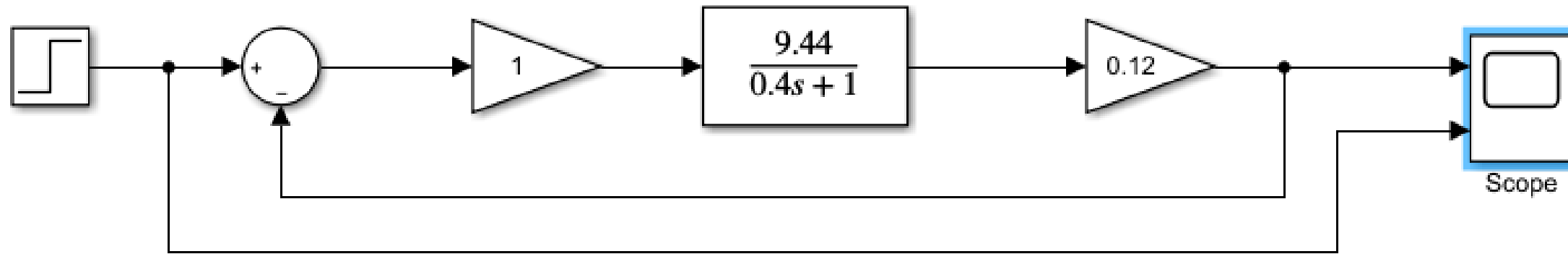
**Gain statique :  $k = \frac{\Omega_{\infty}}{U} = 9,44 \text{ rad}\backslash s.V$**

**Fonction de transfert :**

$$H(p) = \frac{\Omega(p)}{U(p)} = \frac{9,44}{1 + 0,4p}$$

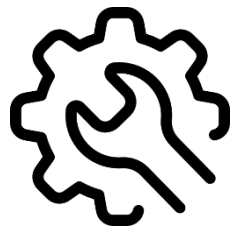


# Asservissement sans Correction

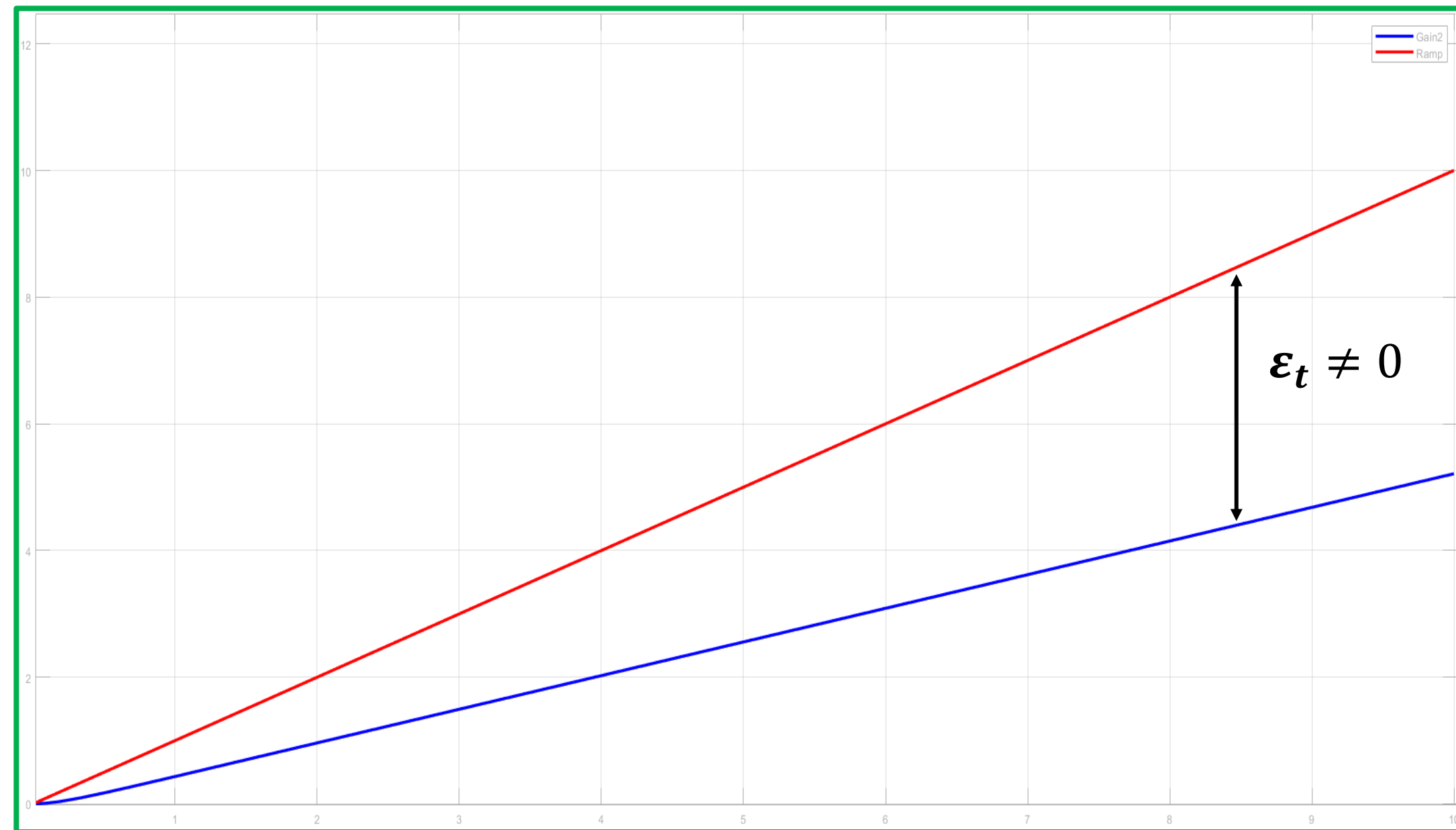
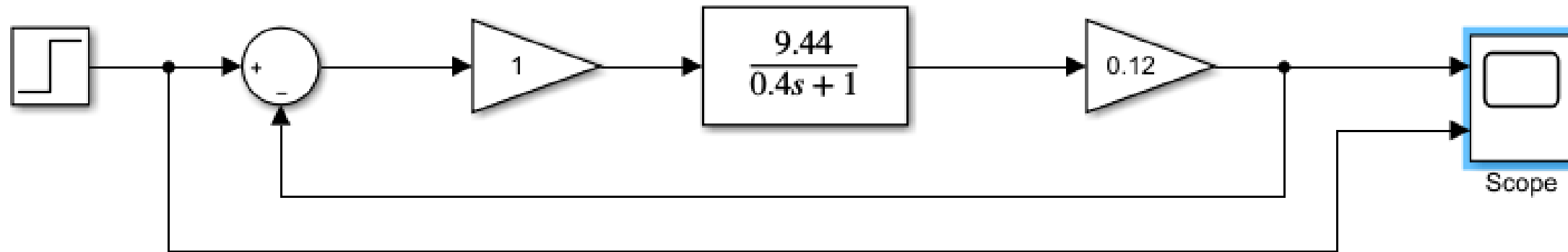


$\varepsilon_s = 0,85\text{mm}$   
L'erreur statique  $\varepsilon_s$   
n'est pas nulle

• Figure 14 : Réponse à un échelon de 1,75mm



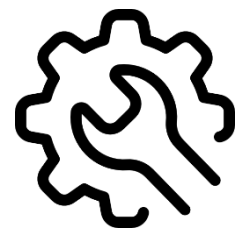
# Asservissement sans Correction



$$\varepsilon_t \rightarrow \infty$$

L'erreur de trainage  $\varepsilon_t$  est très important

• Figure 15 : Réponse à une rampe de 1,75mm

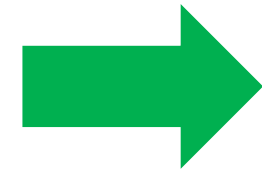


# Interprétation

<<requirement>>  
Précision

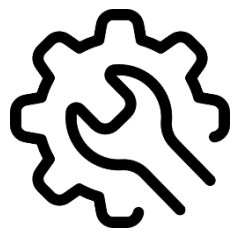
id="1.7"

Text="Le système doit fournir  
un filament de 1,75 mm  
± 0,05 mm de diamètre."



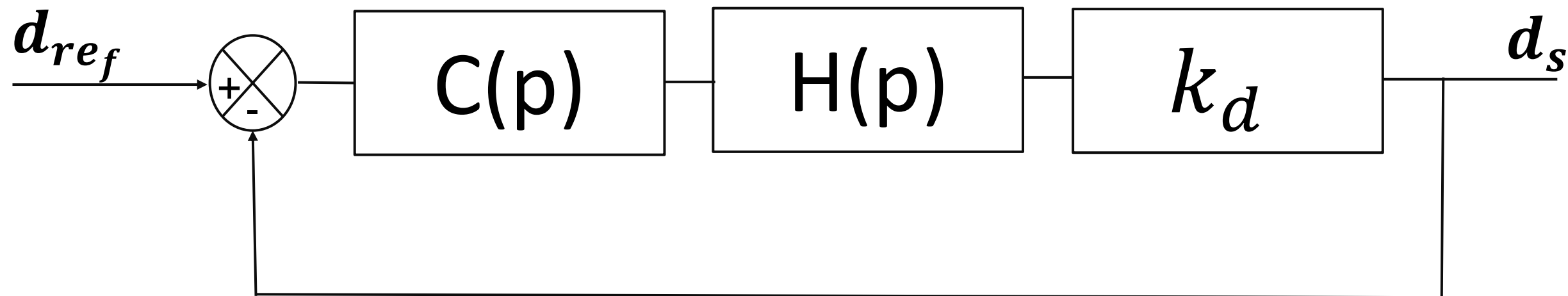
**L'exigence de précision n'est pas satisfaite.**

**Un correcteur PI sera le meilleur choix pour améliorer la précision du système.**



# Asservissement avec Correction

Chercher la valeur de  $k_p$  et  $T_i$  du correcteur PI :



$$C_{(p)} = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} \right)$$

• Figure 16 : Schéma block d'asservissement

On pose  $T_i = \tau = 0,4s \Rightarrow FTBO(p) = C(p) \cdot H(p) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i} \right) \cdot \frac{k}{1+\tau p} \cdot k_d = \frac{k \cdot k_p \cdot k_d}{\tau p}$

$$FTBF(p) = \frac{FTBO(p)}{1 + FTBO(p)} = \frac{1}{1 + \frac{\tau}{k \cdot k_p \cdot k_d} p} = \frac{1}{1 + \tau' p}$$

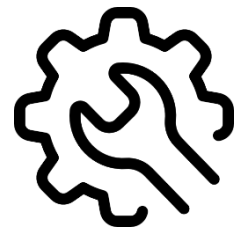
Pour rendre le système 10 fois plus rapide  $\tau' = \frac{\tau}{10}$  on doit avoir :

$$k_p = \frac{10}{k \cdot k_d} = 8,82 \text{ rad. s}^{-1}/V$$

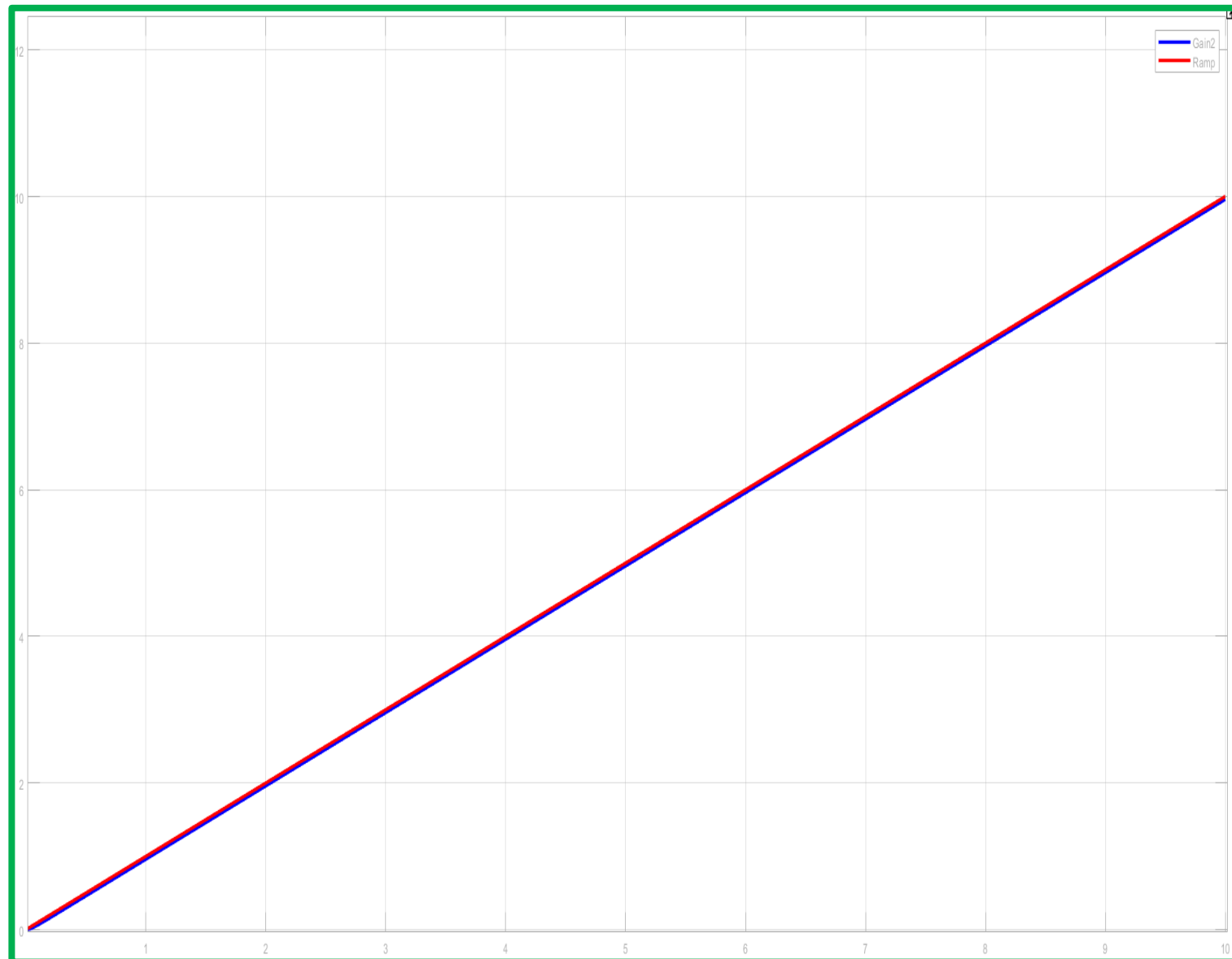
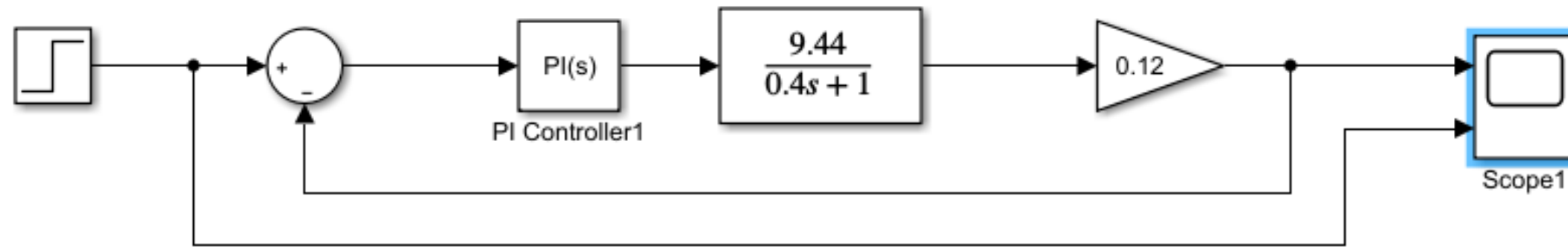
D'où : les paramètres du correcteur choisis :

$$k_p = 8,82 \text{ rad. s}^{-1}/V$$

$$T_i = \tau = 0,4s$$



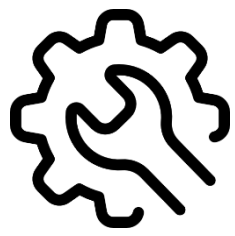
# Correction du système



• *Figure 17* : Réponse d'un échelon de diamètre 1,75mm.



• *Figure 18* : Réponse d'une rampe de diamètre 1,75mm.



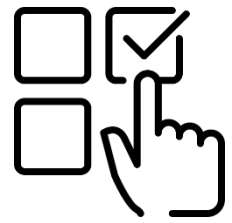
# Interprétation



<<requirement>> Précision
id="1.7"
Text="Le système doit fournir un filament de 1,75 mm ± 0,05 mm de diamètre."

<<requirement>> Rapidité
id="1.8"
Text="Le temps de réponse à 5% doit être inférieur à 0,2s ."

 **L'exigence de la précision et de la rapidité sont bien satisfait.**



# Choix de la résistance chauffante

## ❖ Objectif fonctionnel:

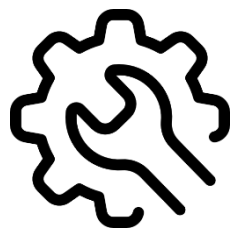
Assurer le chauffage efficace de l'ensemble de la vis d'extrusion afin d'atteindre une température stable d'environ 250 °C, nécessaire à la fusion du PET.



Caractéristique	Valeur
Tension nominale	24v
Puissance nominale	100w
Température max	250-300°C
Temps de réponse	Rapide

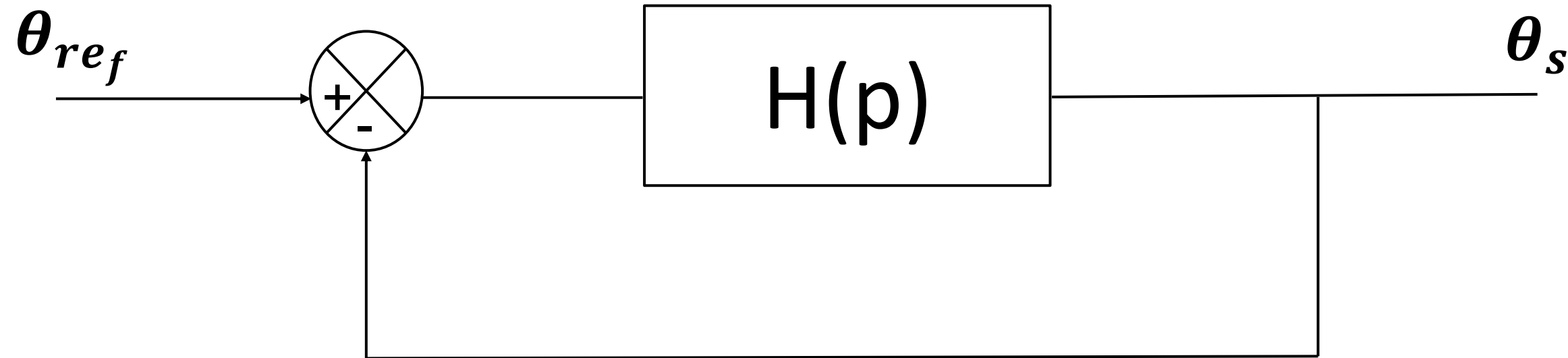
## ✓ Avantages:

- Facilité d'intégration dans un logement métallique
- Puissance suffisante pour compenser les pertes thermique
- Base tension



# Asservissement de la Température

❖ Schéma bloque :



❖ Les constantes de la fonction de transfert :

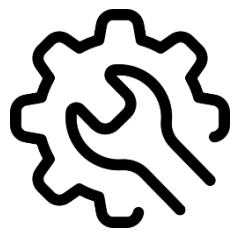
$$k = \frac{\Delta T}{P} = \frac{T_s - T_a}{P} = \frac{250 - 20}{100} = 2,3 \text{ °C/W}$$

$$T = \frac{m \cdot c_p}{h \cdot A} = \frac{0,2 \cdot 1800}{25 \cdot 0,05} = 288s$$

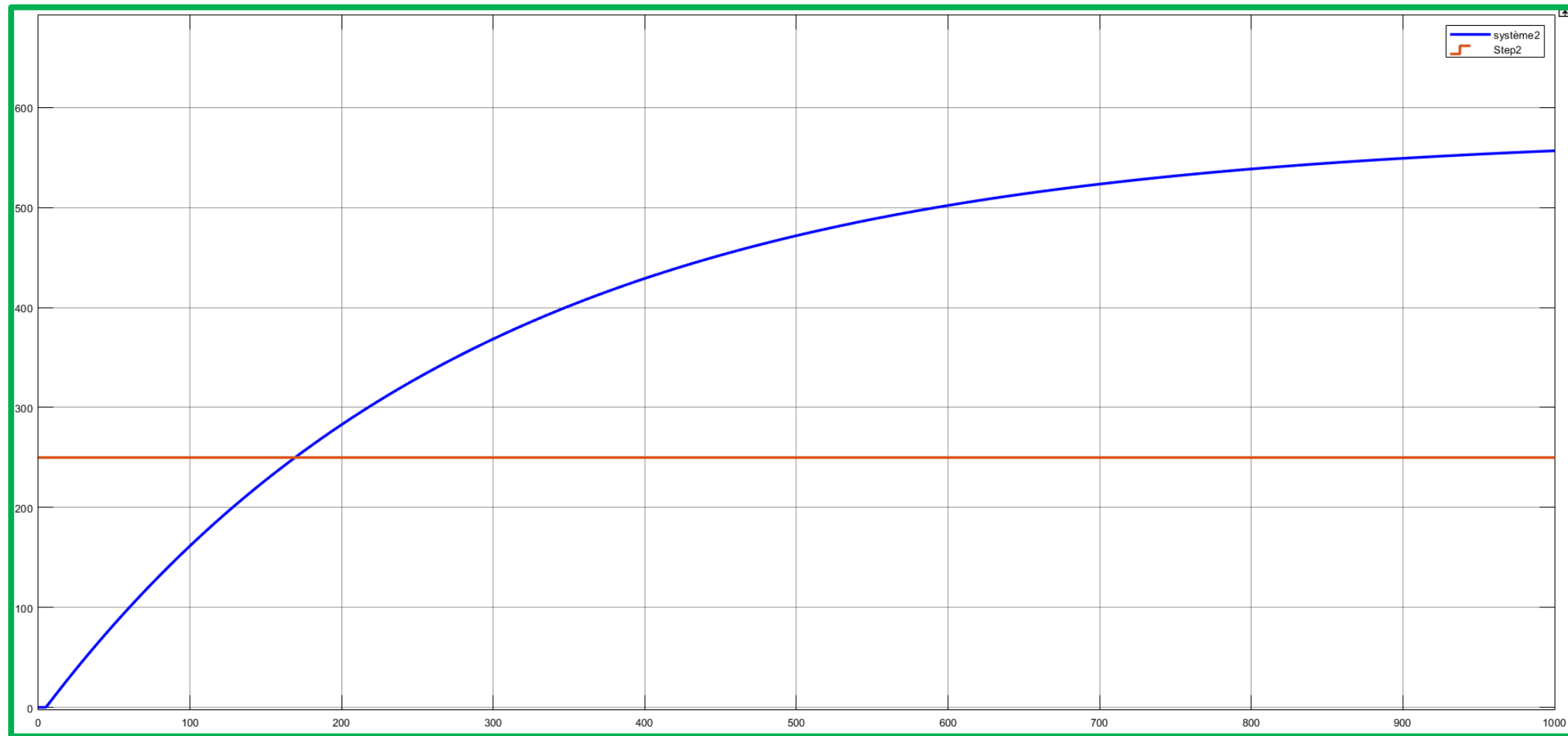
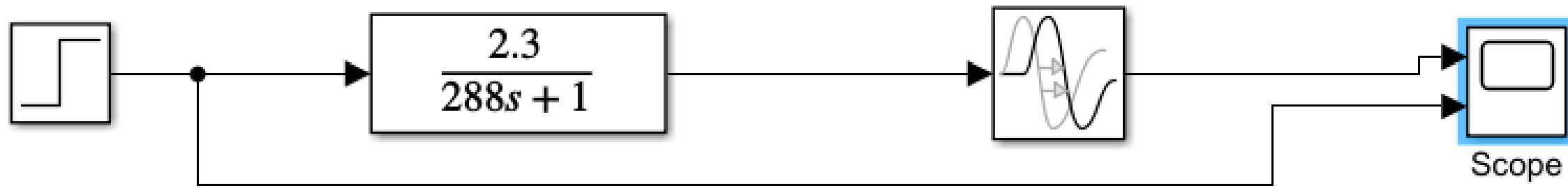
$$\tau = 5s$$

❖ La fonction de transfert :

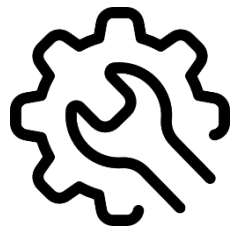
$$H(p) = \frac{\theta_{s(p)}}{P(p)} = \frac{ke^{-\tau p}}{1 + Tp} = \frac{2,3e^{-5p}}{1 + 288p}$$



# Résultat et **Interprétation**

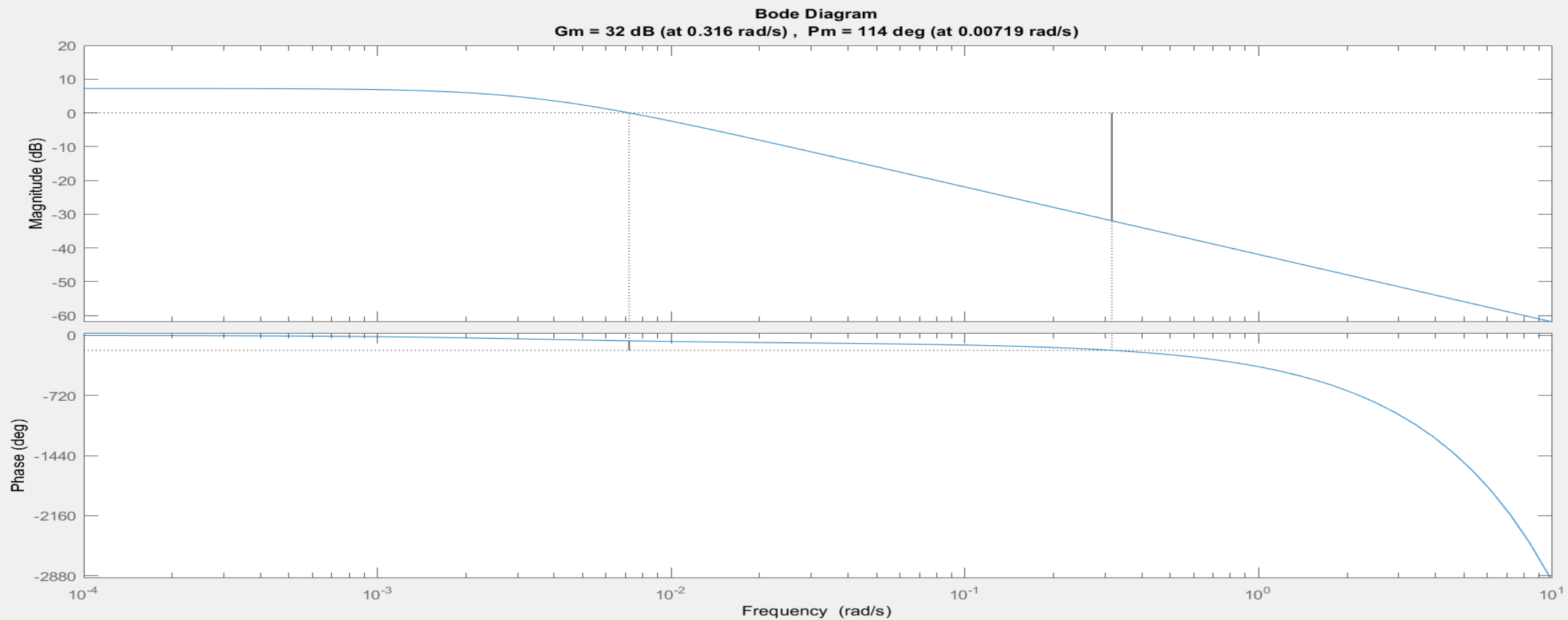
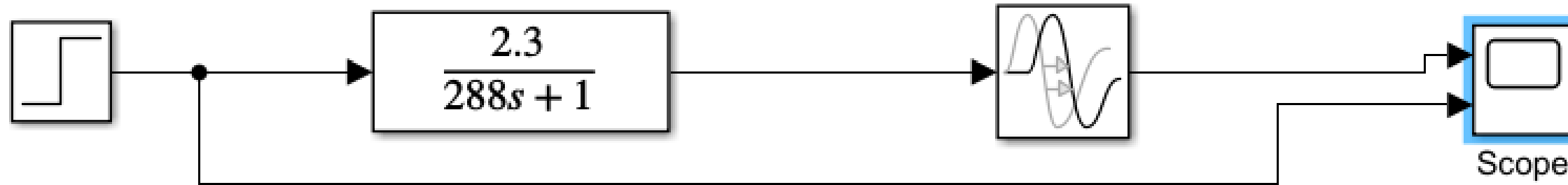


- *Figure 19* : Représentation temporelle de la fonction de transfert.

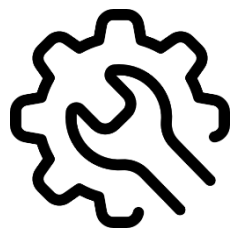


# Asservissement sans Correcteur

Simulation du modèle sur Matlab :

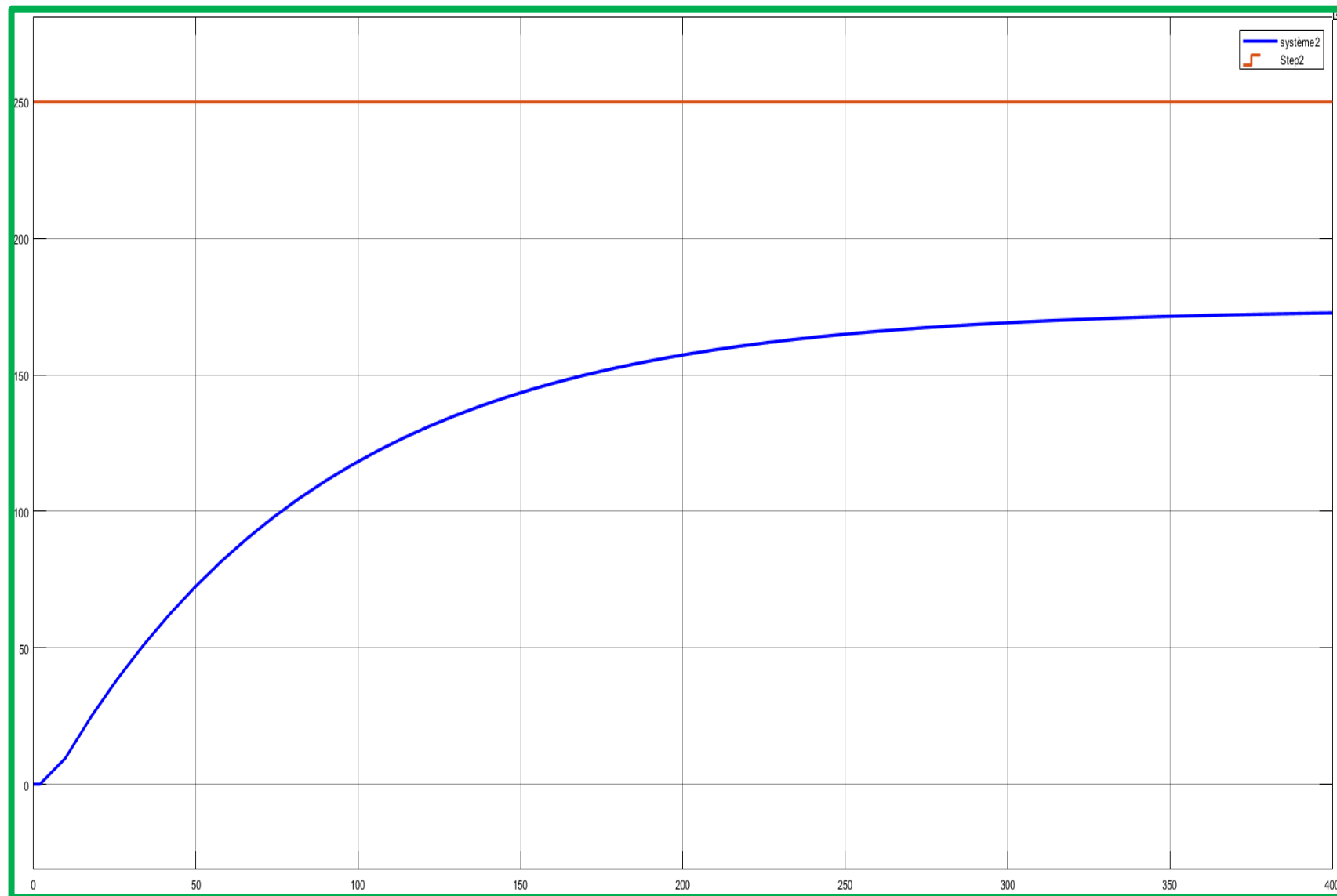
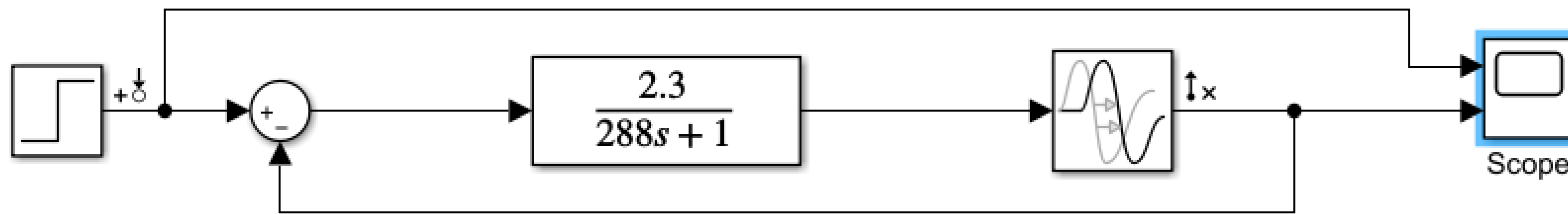


• *Figure 20* : Diagramme de Bode de la FTBO non corrigé du PLASTIFIL'BOX.

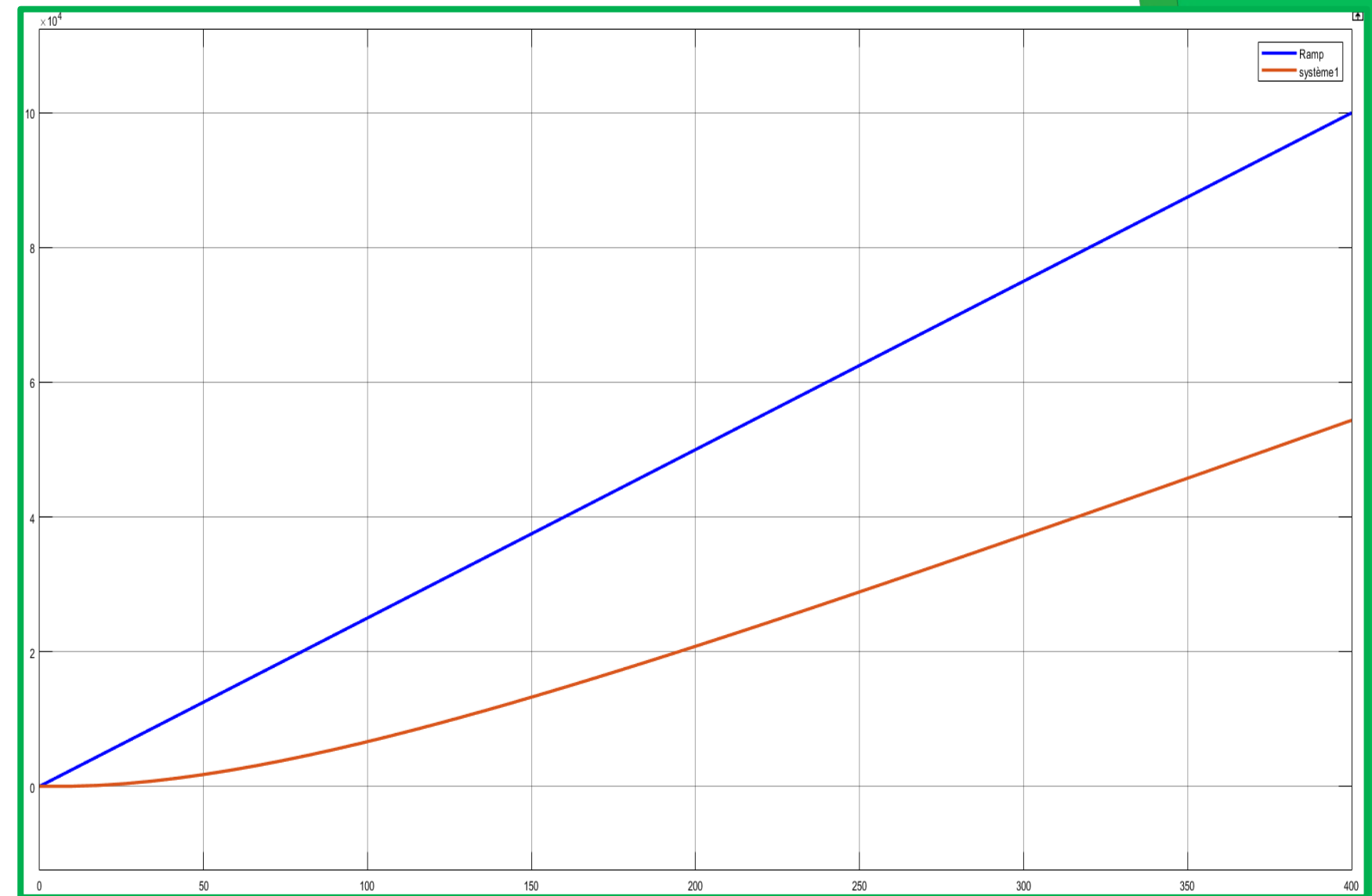


# Asservissement sans Correcteur

Simulation du modèle sur Matlab :



• *Figure 21* : Réponse d'un échelon de température 250 °C.



• *Figure 22* : Réponse d'une rampe de température 250 °C.

# Interprétation

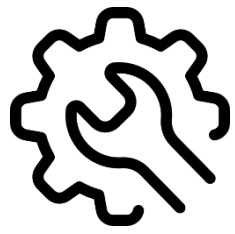
## **Précision :**

- L'erreur statique est non nulle.
- L'erreur de trainage est importante.

## **Stabilité :**

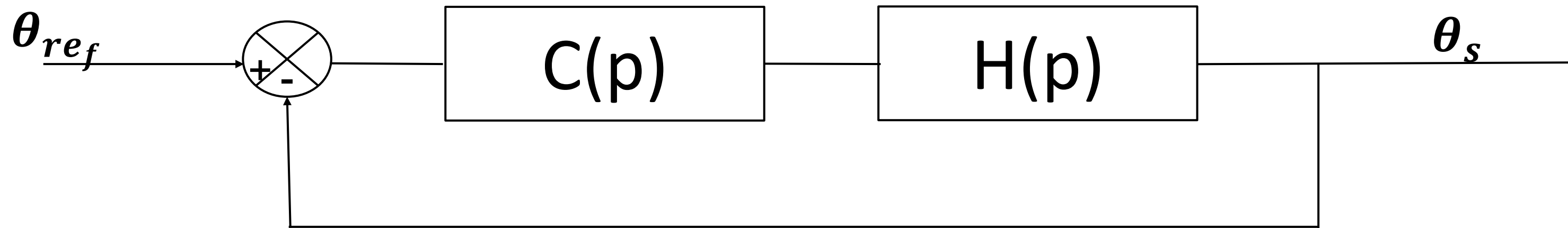
- Le système est stable au cours du temps.

Un correcteur PID sera le meilleur choix pour améliorer la précision, et la rapidité au même temps.



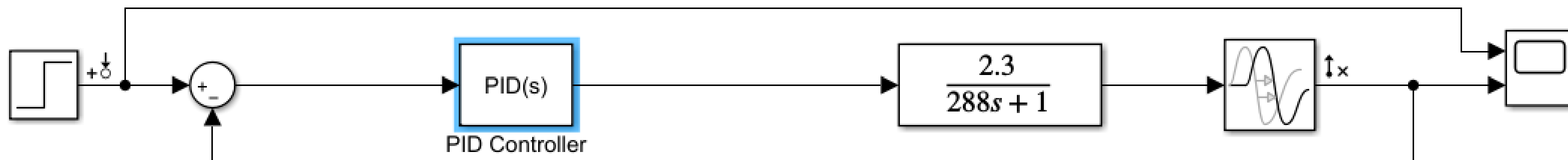
# Asservissement avec Correcteur

❖ Schéma bloqué :

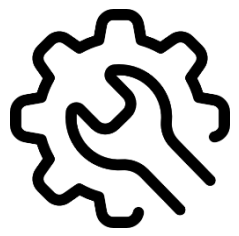


❖ La fonction de transfert du correcteur :

$$C(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$

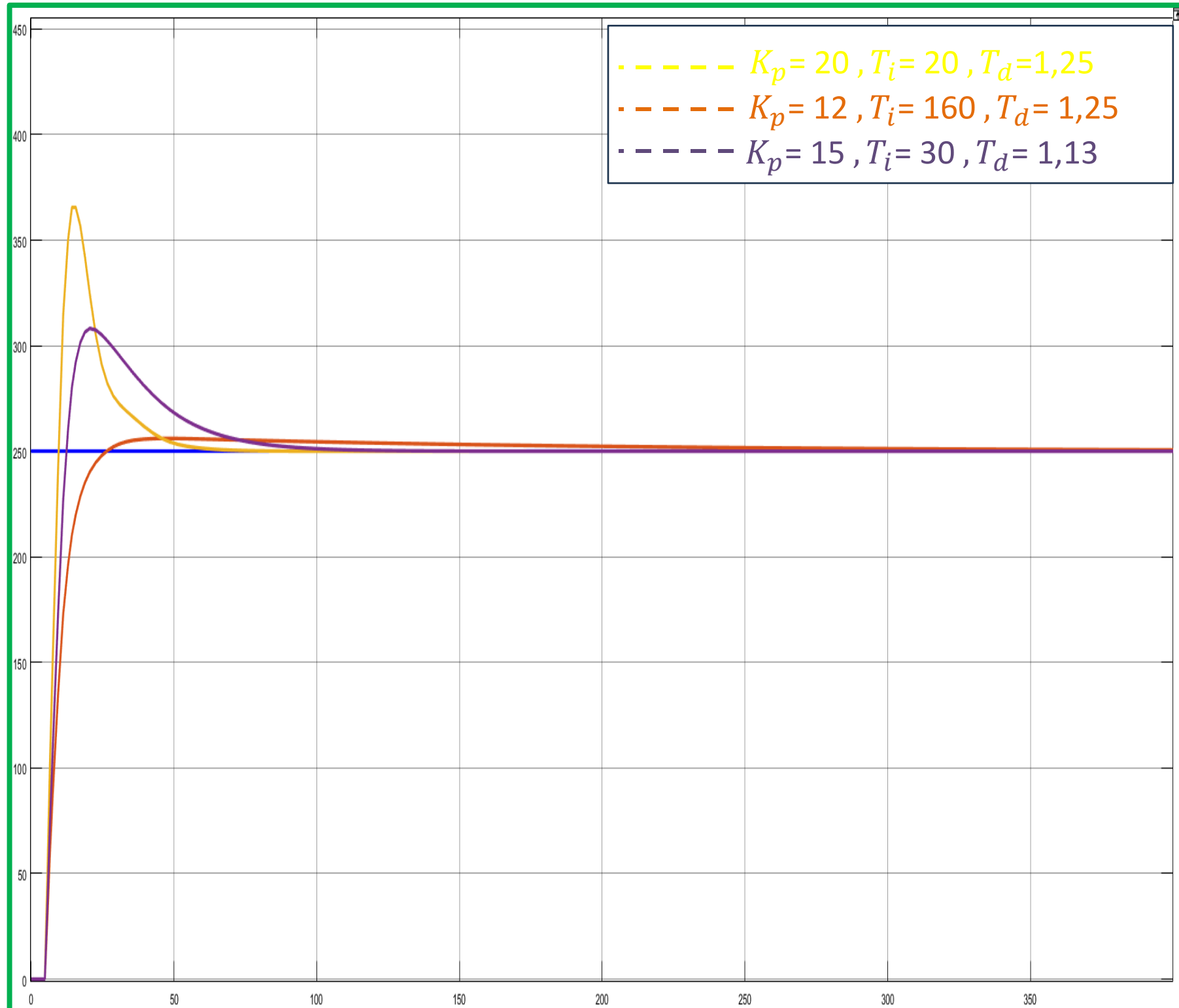


• Figure 23 : Schéma block d'asservissement

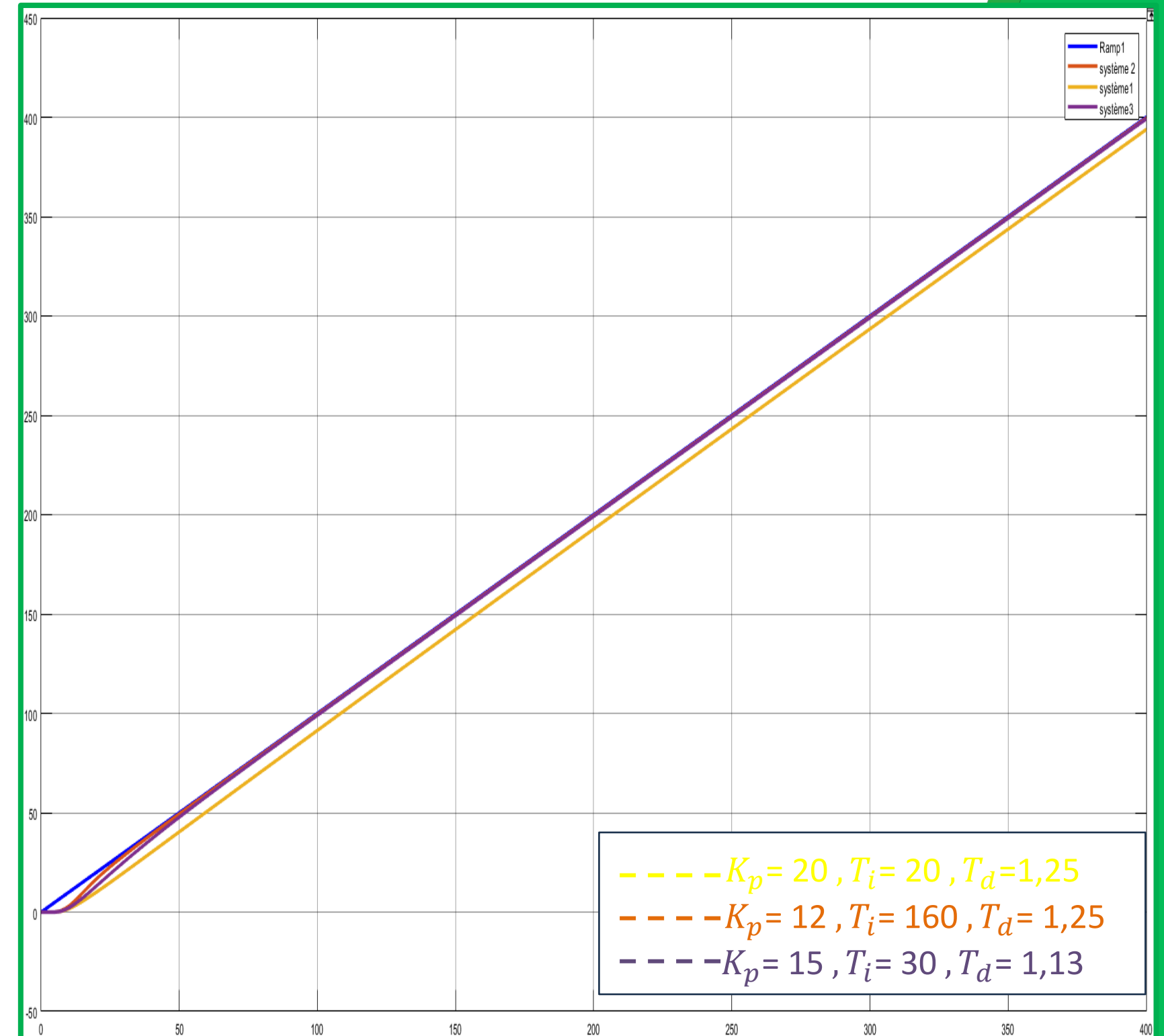


# Asservissement avec Correcteur

## ❖ Choix des paramètres du correcteur:



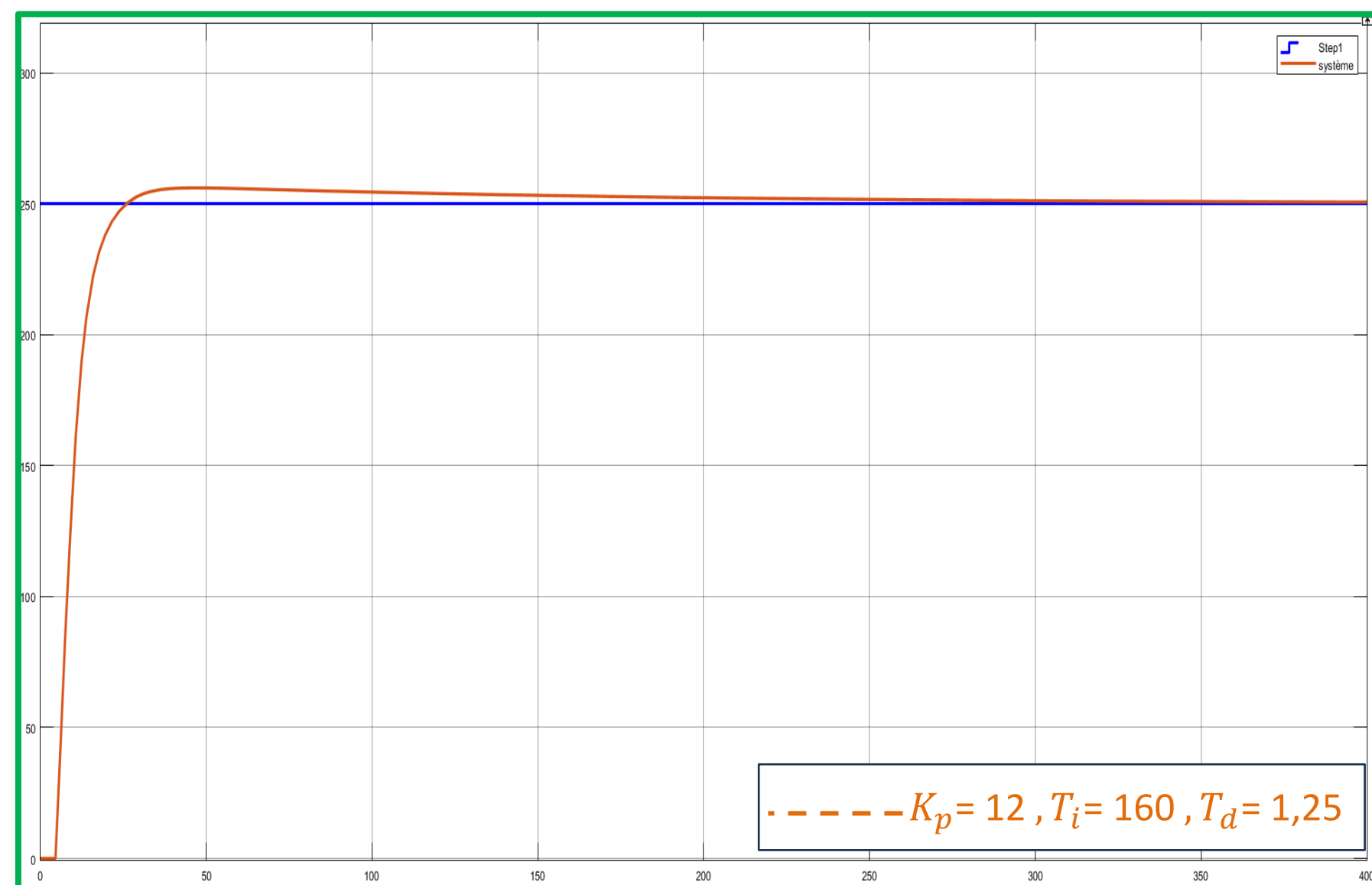
• Figure 24 : Réponse d'un échelon de température 250 °C.



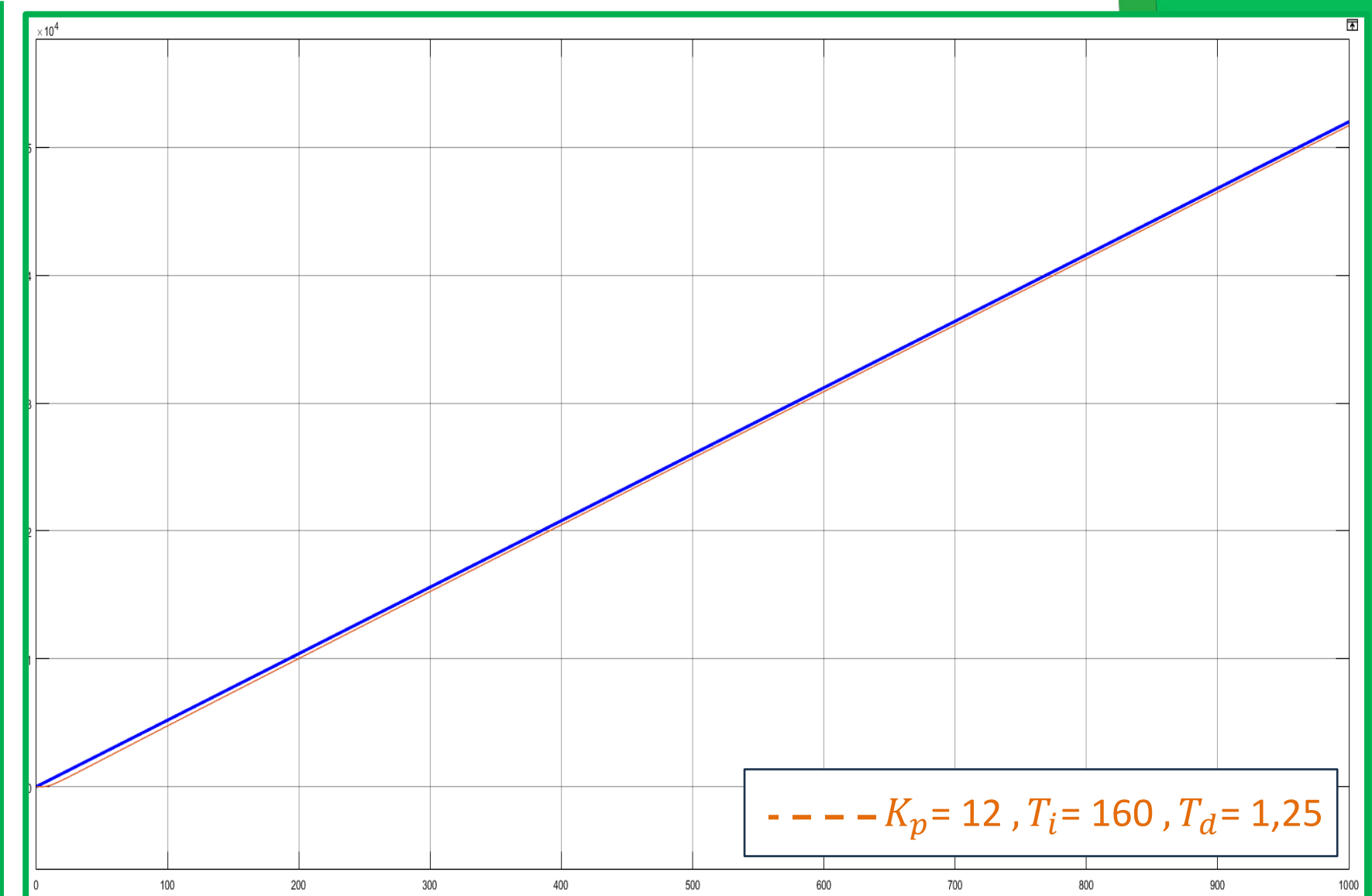
• Figure 25 : Réponse d'une rampe de température 250 °C.

# Correction du système

## Simulation du modèle sur Matlab :



• Figure 26 : Réponse d'un échelon de température 250 °C.



• Figure 27 : Réponse d'une rampe de température 250 °C.

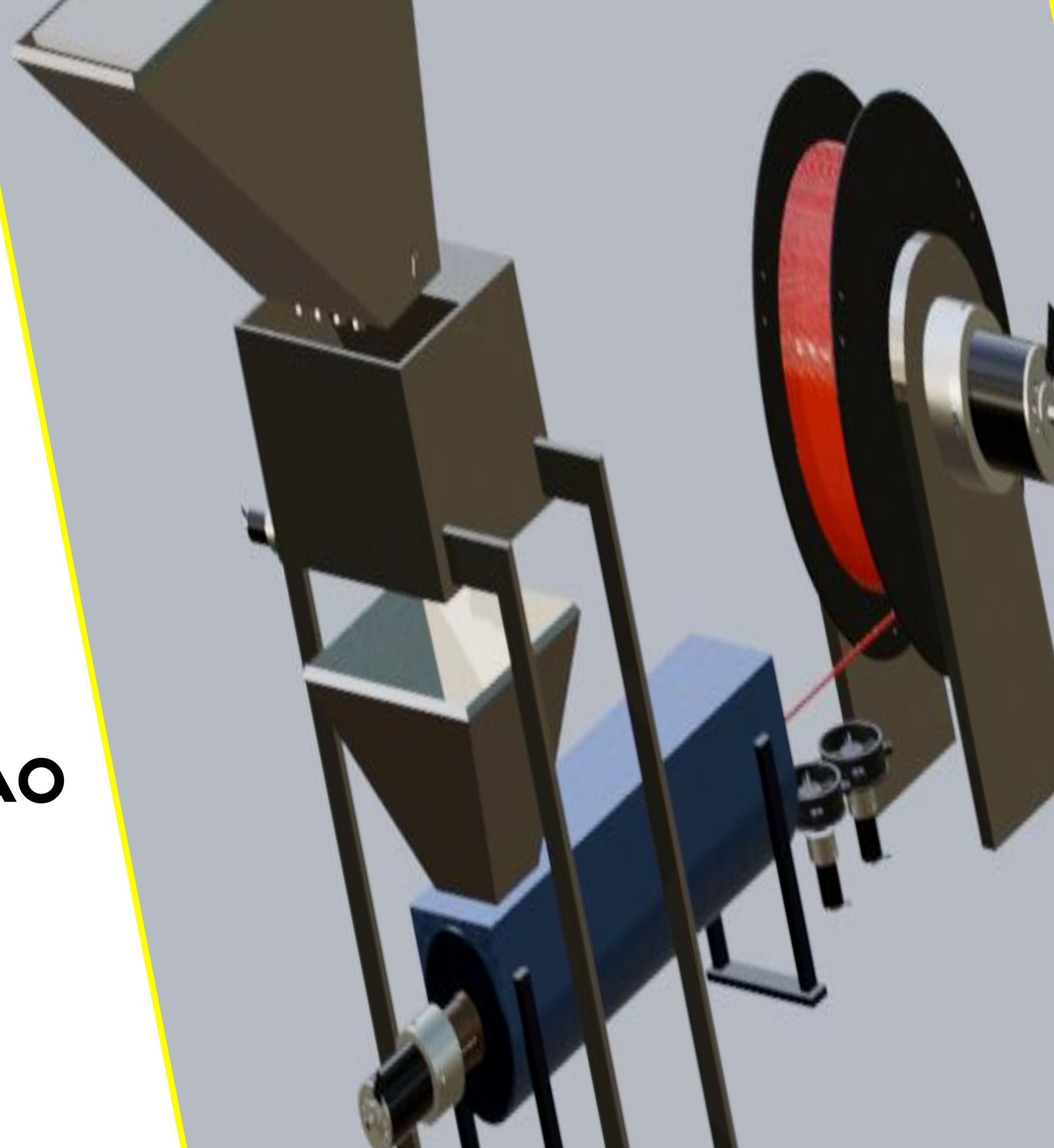
## Interprétation

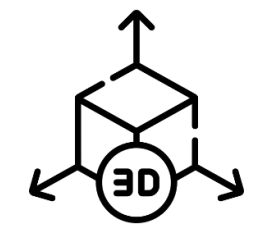
- ➔ L'erreur statique est nulle.
- ➔ L'erreur de trainage est nulle.
- ➔ Le dépassement est acceptable.
- ➔ La rapidité du système est améliorée.

Les performances du système sont améliorées, ce qui montre que le correcteur est bien choisi.

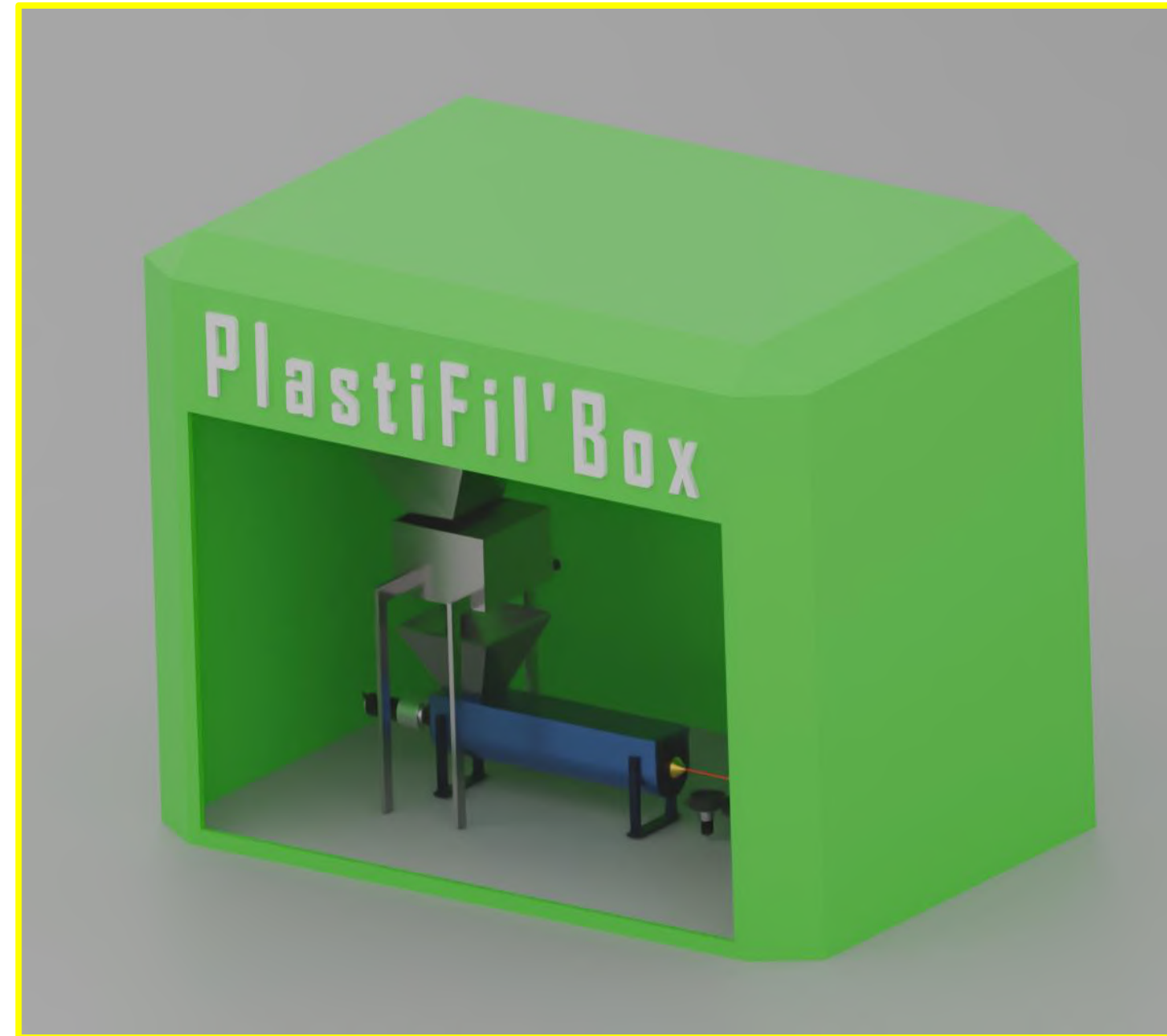
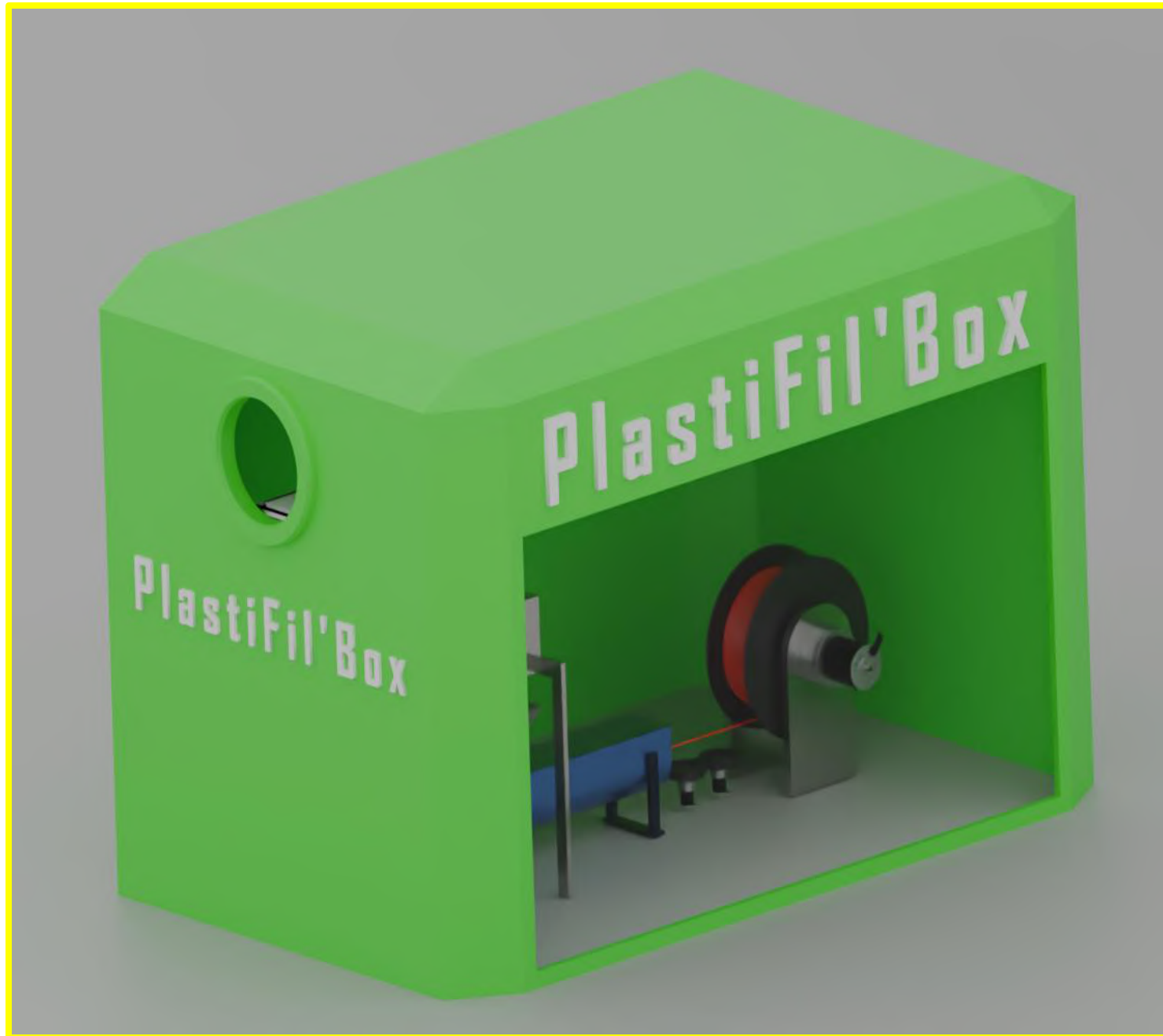
# 4<sup>ème</sup> objectif :

**Conception d'un model du  
système sur un logiciel de CAO**

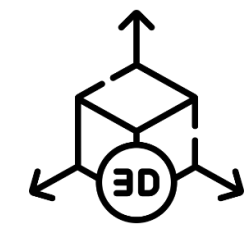




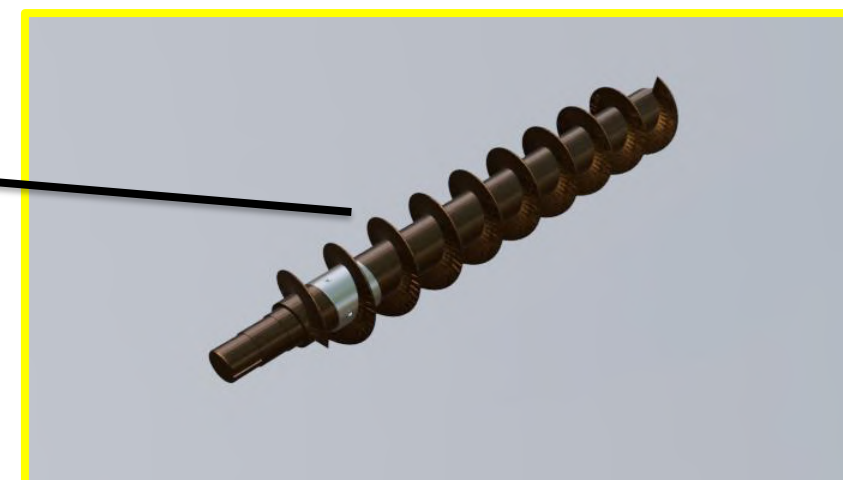
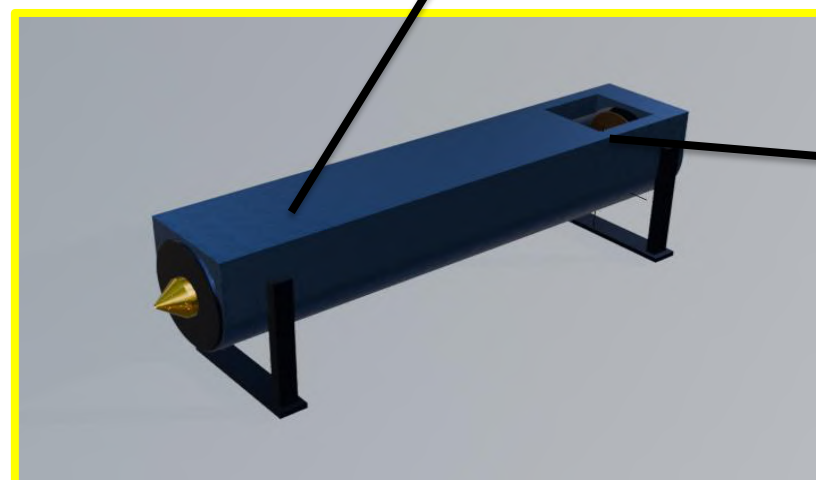
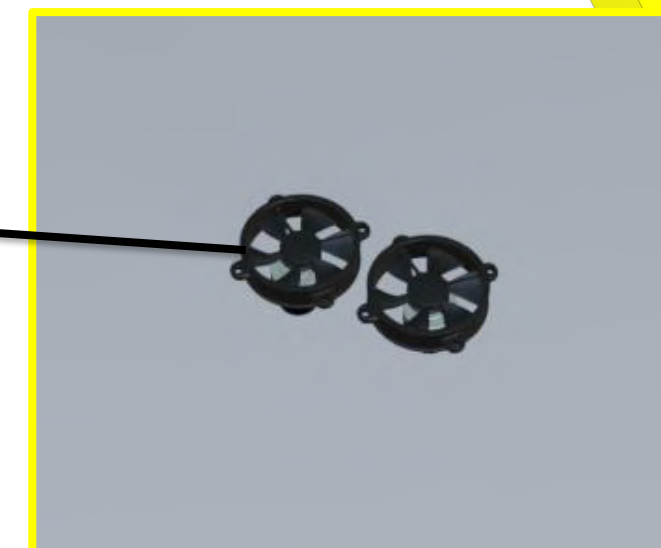
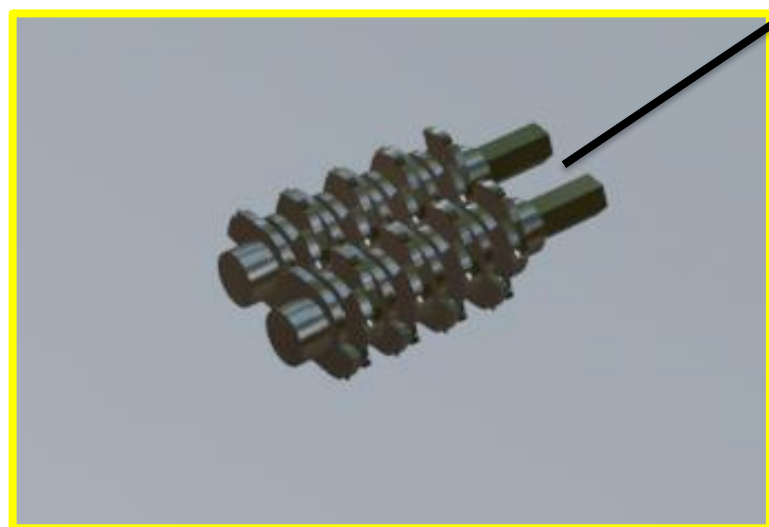
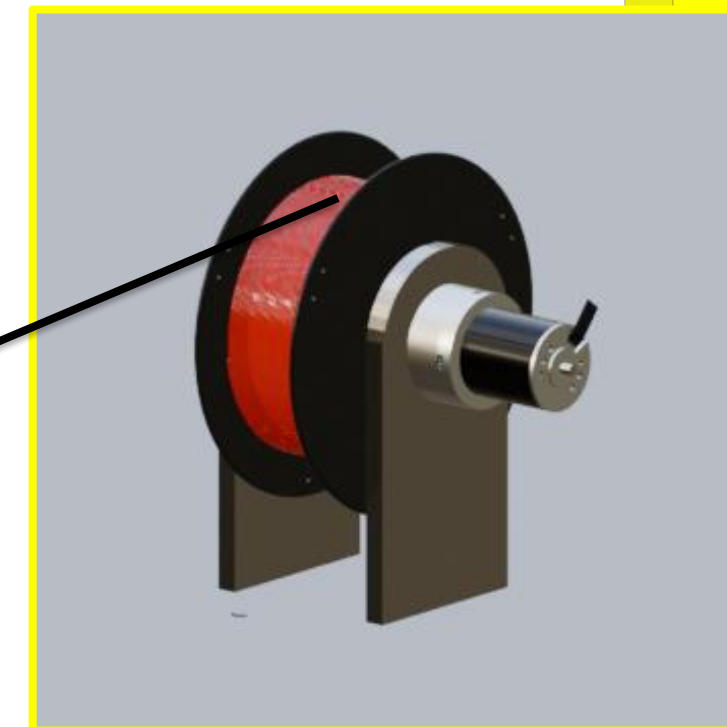
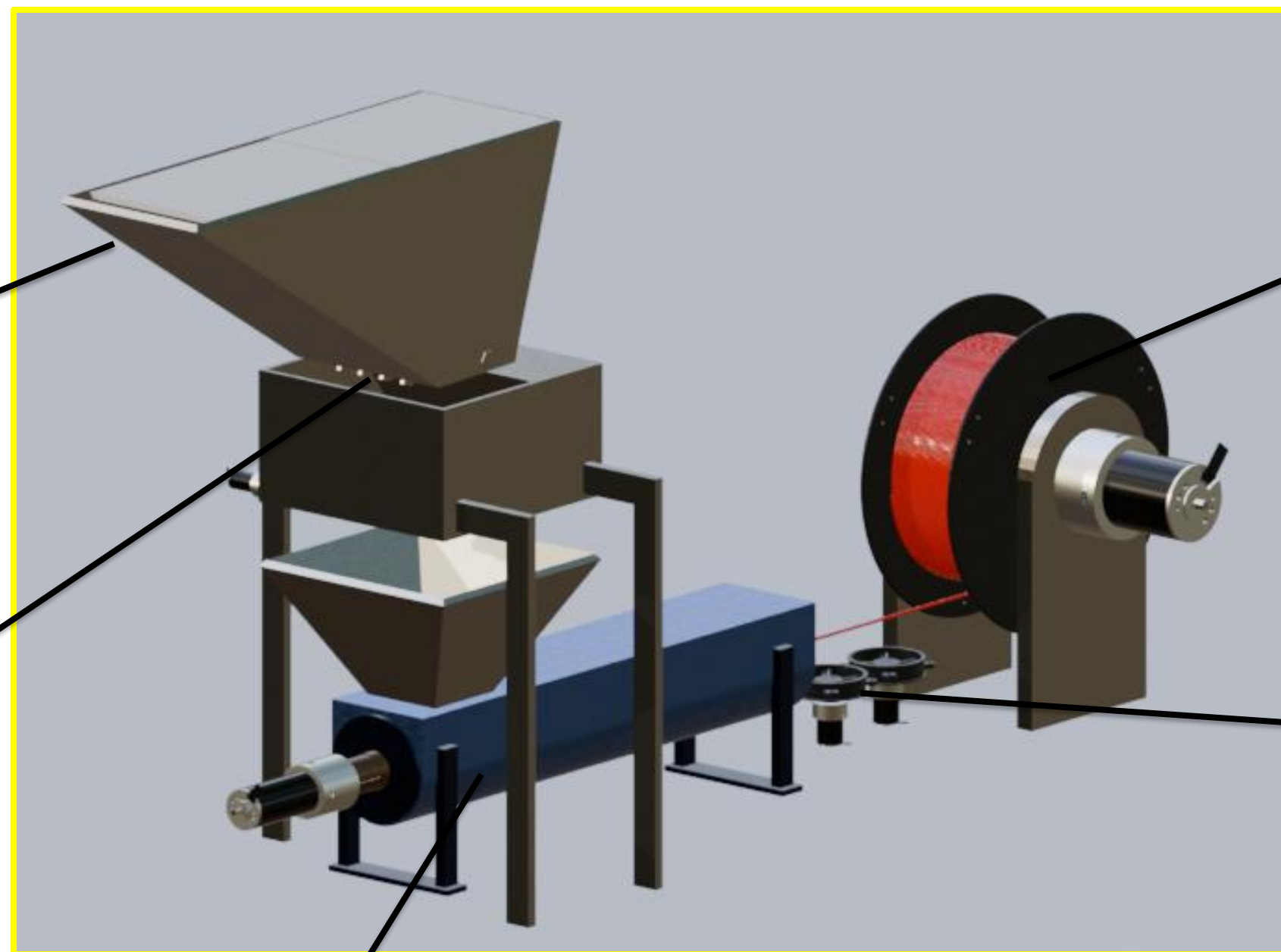
# Conception 3D de système



• *Figure 28* : Modélisation 3D de PlastiFil'Box

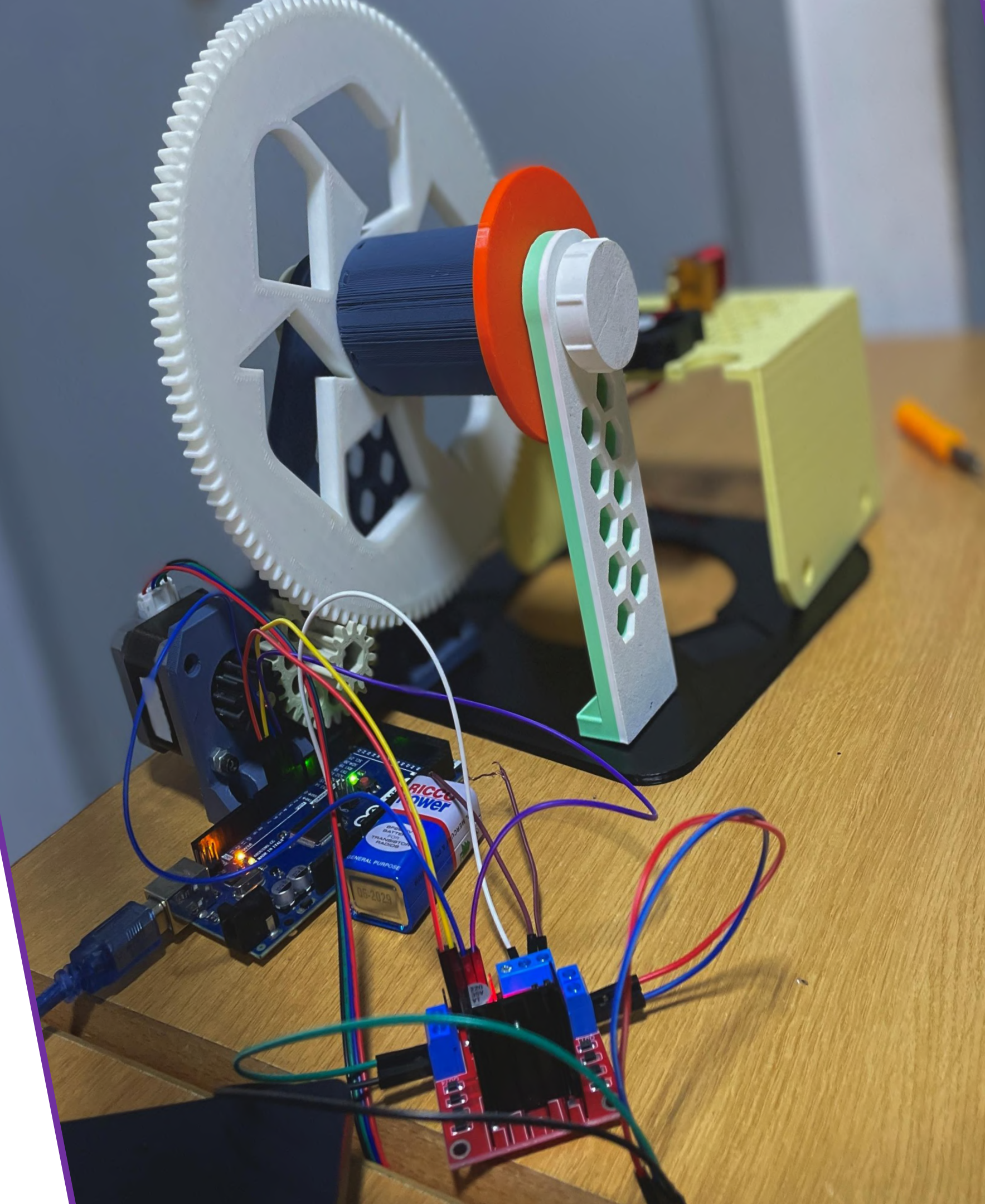


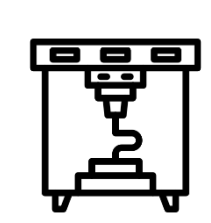
# Conception 3D de système



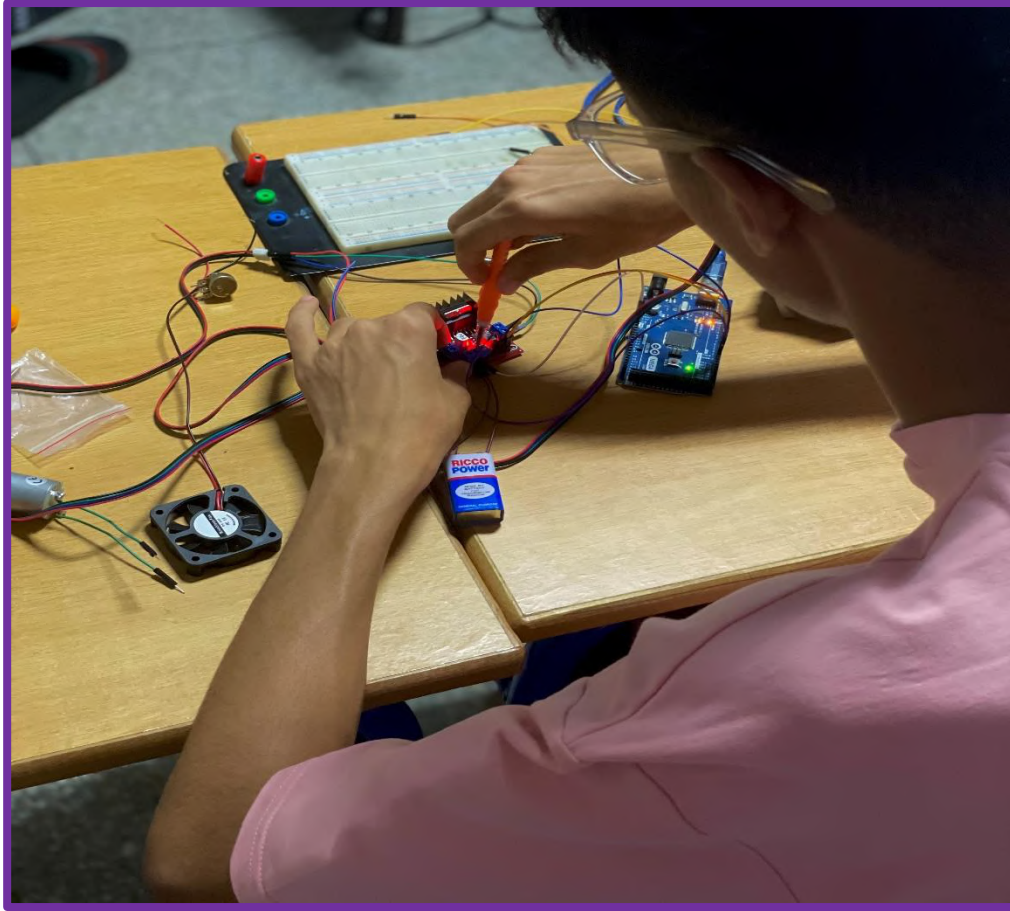
• Figure 29 : L'intérieur du PlastiFil'Box en 3D

**5<sup>ème</sup> objectif :**  
**Réalisation d'un prototype du système**

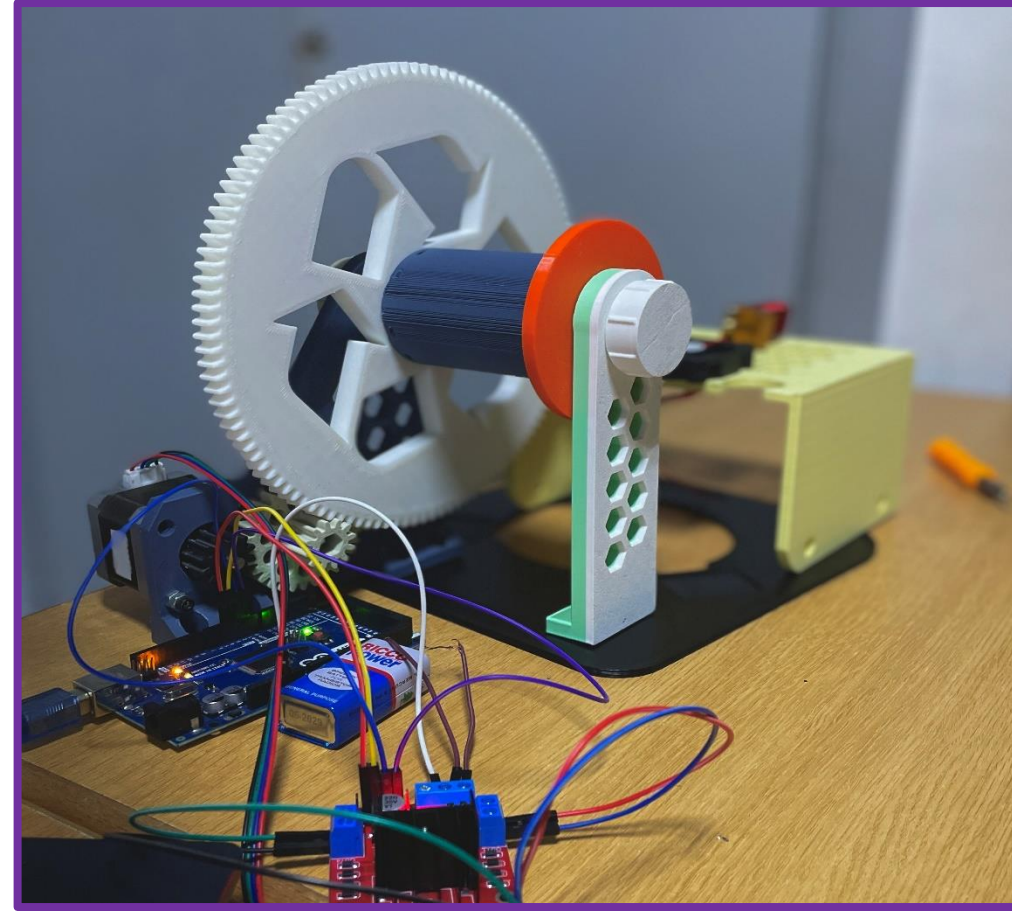




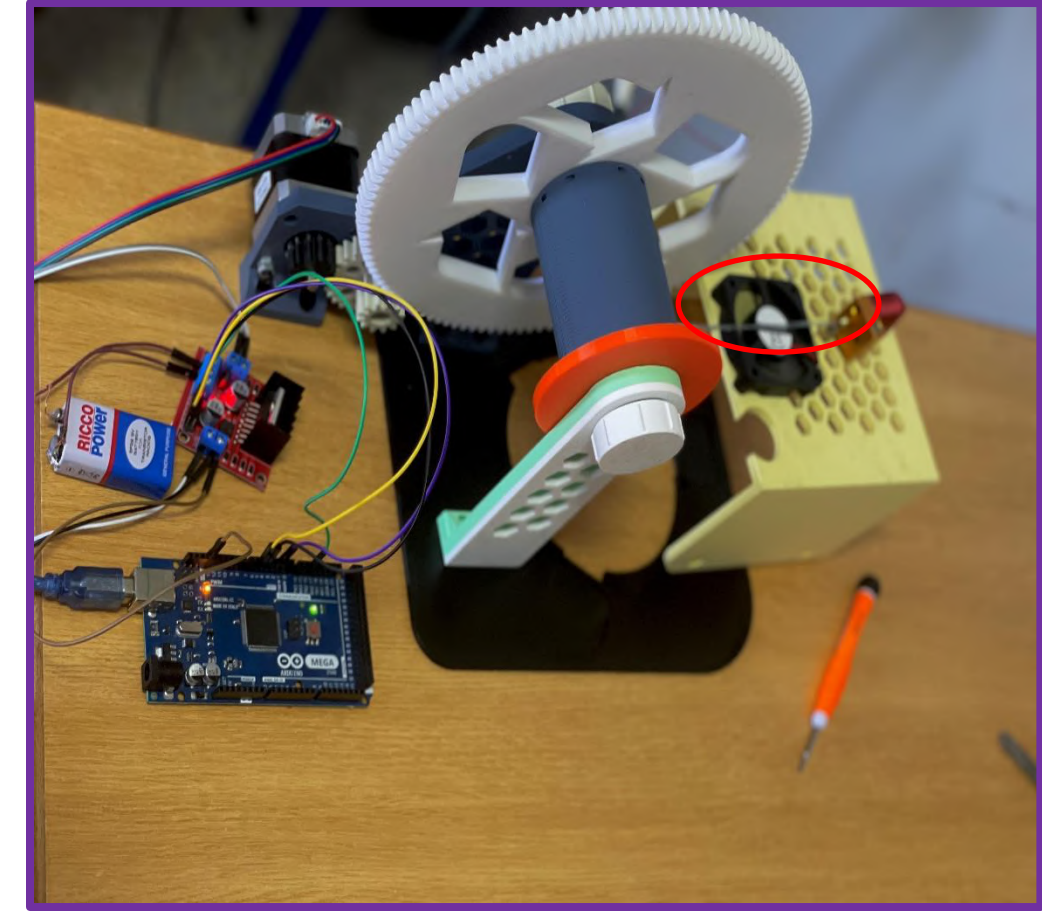
# Prototype du système



• *Figure 30* : Montage de PlastiFil'Box



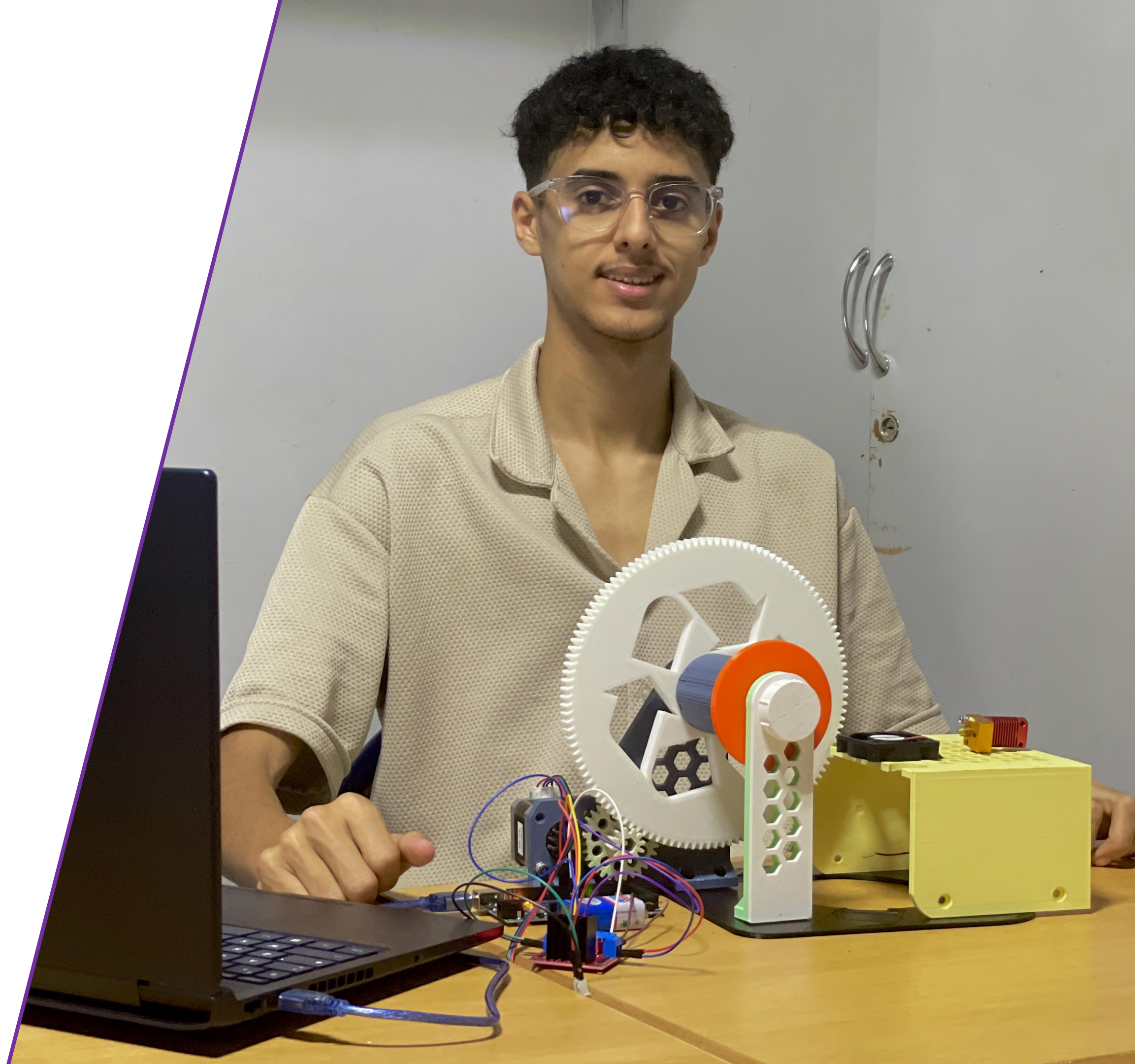
• *Figure 31* : Prototype de PlastiFil'Box



• *Figure 32* : 1<sup>er</sup> échantillon du PlastiFil'Box

# Conclusion

Merci pour  
**votre**  
attention



# Annexes

```

1  const int trigPin = 9;
2  const int echoPin = 10;
3  const int redPin = 3;
4  const int greenPin = 5;
5
6  long duration;
7  int distance;
8
9  void setup() {
10     pinMode(trigPin, OUTPUT);
11     pinMode(echoPin, INPUT);
12     pinMode(redPin, OUTPUT);
13     pinMode(greenPin, OUTPUT);
14     Serial.begin(9600);
15 }
16
17 void loop() {
18     // Mesure de la distance
19     digitalWrite(trigPin, LOW);
20     delayMicroseconds(2);
21     digitalWrite(trigPin, HIGH);
22     delayMicroseconds(10);
23     digitalWrite(trigPin, LOW);
24
25     duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
26     distance = duration * 0.034 / 2;
27
28     Serial.print("Distance: ");
29     Serial.println(distance);
30
31     if (distance > 0 && distance <= 20) {
32         // Bouteille détectée : LED verte
33         digitalWrite(greenPin, HIGH);
34         digitalWrite(redPin, LOW);
35     } else {
36         // Pas de détection : LED rouge
37         digitalWrite(greenPin, LOW);
38         digitalWrite(redPin, HIGH);
39     }
40
41     delay(300);

```

- *Figure 33* : Code Arduino Ultrason

```

1  // --- Déclarations des broches ---
2  const int pinIN1 = 8;
3  const int pinIN2 = 4;
4  const int pinENA = 9;    // PWM pour contrôler la vitesse
5  const int pinCodeur = 2; // Entrée du capteur LM393 (DO)
6
7  // --- Variables globales ---
8  volatile unsigned long impulsions = 0; // Nombre d'impulsions comptées
9  float trMin = 0; // Vitesse en tr/min
10
11 void setup() {
12     // Initialisation de la communication série
13     Serial.begin(115200);
14     Serial.println("Démarrage du système de mesure de vitesse...");
15
16     // Configuration des broches moteur
17     pinMode(pinIN1, OUTPUT);
18     pinMode(pinIN2, OUTPUT);
19     pinMode(pinENA, OUTPUT);
20     pinMode(pinCodeur, INPUT);
21
22     // Configuration interruption pour capteur
23     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinCodeur), compteurImpulsions, RISING);
24
25     // Démarrage du moteur
26     digitalWrite(pinIN1, HIGH);
27     digitalWrite(pinIN2, LOW);
28     analogWrite(pinENA, 150); // Valeur PWM entre 0 (arrêt) et 255 (vitesse max)
29 }
30
31 void loop() {
32     delay(1000); // Attente de 1 seconde (période de mesure)
33
34     // Désactiver temporairement les interruptions pour lecture stable
35     noInterrupts();
36     unsigned long nbImpulsions = impulsions;
37     impulsions = 0; // Remise à zéro pour la prochaine période
38     interrupts();
39
40     // Nombre d'impulsions par tour - À adapter selon ton capteur
41     const float impulsionsParTour = 20.0;
42
43     // Calcul de la vitesse (tr/min)
44     trMin = (nbImpulsions / impulsionsParTour) * 60.0;
45
46     // Affichage dans le Serial Monitor
47     Serial.print("Nombre d'impulsions : ");
48     Serial.print(nbImpulsions);
49     Serial.print(" | Vitesse = ");
50     Serial.print(trMin);
51     Serial.println(" tr/min");
52 }
53
54 // Fonction appelée à chaque front montant détecté par le capteur LM393
55 void compteurImpulsions() {
56     impulsions++;
57 }

```

- *Figure 34* : Code Arduino pour l'identification du moteur MCC

```

import matplotlib.pyplot as plt
fichier = open("C:/Users/HP/Desktop/valeurs.txt", "r")
donnee = fichier.read()
T = donnee.strip().split('\n') # l'origine de temps
def donnees(T):
    x = []
    y = []
    X1 = []
    for i in range(len(T)):
        h = T[i].split('\t')
        X1.append(float(h[1]))
        y.append(float(h[0]))
    for j in range(len(X1)-1):
        x.append(X1[j+1] - X1[j])
    return x, y

x, y = donnees(T)
plt.plot(x, y)
plt.xlabel("temps en micro s")
plt.ylabel("vitesse en pas/s")
plt.grid()
plt.show()
fichier.close()

```

- *Figure 35* : Code Python pour tracer la courbe de la réponse de la MCC